



**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKROHIDRO PADA BENDUNG KARET JATIMLEREK
KECAMATAN PLANDAAN KABUPATEN JOMBANG**

SKRIPSI

Oleh

**AIDA PUTRI ARIANSYAH
NIM 141910301106**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKROHIDRO PADA BENDUNG KARET JATIMLEREK
KECAMATAN PLANDAAN KABUPATEN JOMBANG**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**AIDA PUTRI ARIANSYAH
NIM 141910301106**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah atas berkat rahmat Tuhan Yang Maha Esa dan dukungan daro orang-orang tercinta penelitian ini dapat terselesaikan. Oleh karenanya dengan bangga penulis persembahkan skripsi ini untuk :

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M selaku dosen pembimbing utama dan Dr. Gusfan Halik, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu dan perhatian guna memberikan bimbingan demi terselesaikannya penulisan laporan tugas akhir ini.
2. Ayahanda Haris Hermansyah dan Ibunda Norma Etika Sari yang telah memberikan dukungan moral dan material serta pengorbanan yang tak terhingga selama ini.
3. Adikku tercinta Emirzan Raftris yang juga turut mendukung dan mendoakan terselesaikannya skripsi ini.
4. Mbak Ana, Mas Bayu, dan segenap anggota divisi kantor Balai Besar Wilayah Sungai Brantas Wiyung Surabaya dan kantor Operasional dan Pemeliharaan II Jombang, yang telah membantu melengkapi data-data yang diperlukan untuk laporan tugas akhir ini.
5. Galih, Usaamah, Raden, Rizqi, Tina, Amel, Ulfa, Billy, Mas Roland, dan teman-teman seperjuangan Teknik Sipil 2014 yang telah meluangkan waktu untuk membantu menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman-teman “Grosir Pitik Sumboan” dan “Morning Tan” yang selalu menghibur dikala jenuh.
7. Monica, Fisca, Jessy, Sisil Lily, Sisil Echa, Mbak Dini, dan gadis-gadis “Kosan Mbak Yuli” yang rela menemani menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Andrian Yahya, terima kasih atas dukungan dan motivasinya.
9. Guru-guruku TK Kartika V-70, SD Ditotrunan 01, SMPN 1 Lumajang, SMAN 2 Lumajang, dan seluruh dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember
10. Keluarga besar Teknik Sipil, terima kasih atas dukungan dan motivasinya
11. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember

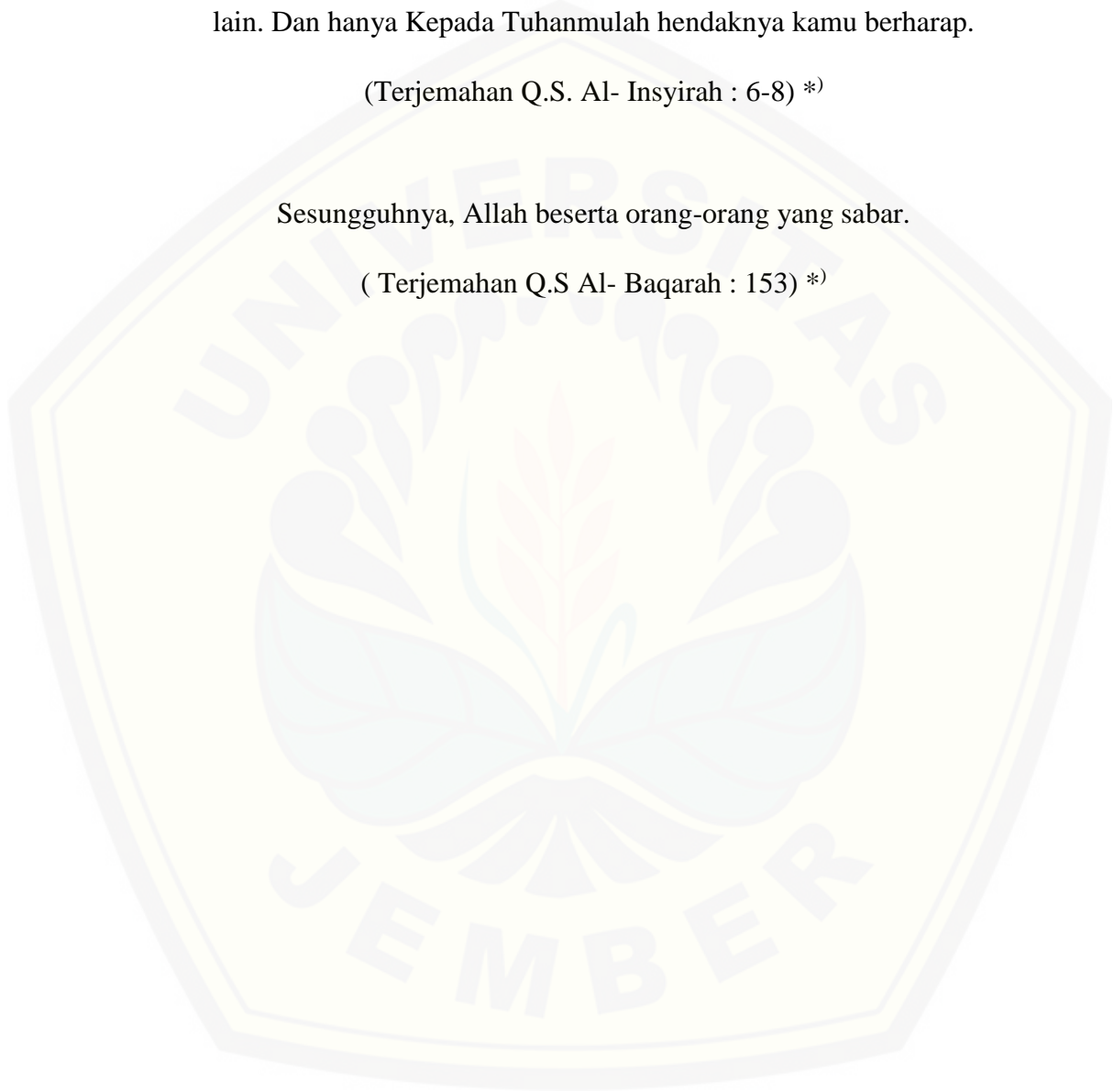
MOTO

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan). Kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. Dan hanya Kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.

(Terjemahan Q.S. Al- Insyirah : 6-8) *)

Sesungguhnya, Allah beserta orang-orang yang sabar.

(Terjemahan Q.S Al- Baqarah : 153) *)



*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2005. Al Qur'an dan Terjemahannya Special of Women. Jakarta: Yayasan Penterjemah/Pentafsir Al-Qur'an

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Aida Putri Ariansyah

NIM : 141910301106

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul " Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro pada Bendung Karet Jatimlerek Kecamatan Plandaan Kabupaten Jombang" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 Maret 2018

Yang menyatakan

Aida Putri Ariansyah

NIM 141910301106

SKRIPSI

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKROHIDRO PADA BENDUNG KARET JATIMLEREK
KECAMATAN PLANDAAN KABUPATEN JOMBANG**

Oleh

AIDA PUTRI ARIANSYAH

NIM 141910301106

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2018

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T

PENGESAHAN

Karya Ilmiah skripsi berjudul "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro pada Bendung Karet Jatimlerek Kecamatan Plandaan Kabupaten Jombang" telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : 15 Mei 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

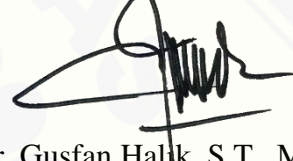
Tim Penguji:

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M
NIP. 19661215 199503 2 001

Pembimbing Pendamping



Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T
NIP. 19710804 199803 1 002

Penguji Ketua



Ahmad Hasanuddin, S.T., M.T.
NIP. 19710327 199803 1 003

Penguji Anggota



Sri Wahyuni, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19711209 199803 2 001

Mengesahkan

Dekan,



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) pada Bendung Karet Jatimlerek Kecamatan Plandaan Kabupaten Jombang; Aida Putri Ariansyah, 141910301106; Jurusan Teknik Sipil; Fakultas Teknik Universitas Jember.

Ketersediaan listrik saat ini merupakan kebutuhan yang cukup penting untuk menunjang aktivitas manusia. Berdasarkan catatan dalam RUPTL PLN tahun 2017-2026, kebutuhan listrik wilayah Jawa-Bali mengalami peningkatan kebutuhan listrik sebesar 7,2% pertahun. Peningkatan kebutuhan tersebut dapat dipenuhi oleh Perusahaan Listrik Nasional (PT. PLN) yang bekerja sama dengan pihak luar dalam rangka penyediaan energi.

Seiring dengan berkembangnya teknologi, dunia kelistrikan telah lama memperkenalkan energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air. PLTA merupakan jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan ketinggian dan debit air dalam jumlah tertentu sehingga dapat menggerakkan turbin dan generator. Prinsip kerja PLTA yaitu dengan memanfaatkan tinggi jatuhnya air dan besarnya debit sungai.

Di wilayah Jawa Timur terdapat sungai terpanjang kedua setelah Bengawan Solo yaitu Sungai Brantas. Sungai tersebut merupakan salah satu sungai yang memiliki debit cukup besar. Pada badan sungai tepatnya di desa Jatimlerek terdapat sebuah bendung karet yang difungsikan sebagai peninggi muka air untuk irigasi. Dengan besarnya debit yang tersedia bukan tidak mungkin dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik.

Perencanaan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air dilakukan di sekitar wilayah bendung karet Jatimlerek yang terletak di Kecamatan Plandaan Kabupaten Jombang. Pada tahap awal perencanaan adalah menentukan debit andalan dan tinggi jatuh air. Penentuan debit andalan diperoleh dengan cara mengumpulkan data pencatatan debit dalam

10 tahun terakhir dan mengolah data tersebut dengan menggunakan metode *Flow Duration Curve* (FDC) untuk menentukan probabilitas debit yang optimal. Selanjutnya melakukan pengukuran untuk memperoleh tinggi jatuh air yang paling besar. Bagian terpenting dalam perencanaan adalah mengetahui seberapa besar daya listrik yang bisa dibangkitkan.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan debit andalan untuk pembangkitan sebesar 45,231 m³/detik dengan probabilitas 70%. Tinggi jatuh air ditetapkan sebesar 4,505 meter berdasarkan perhitungan elevasi di lapangan. Dengan tinggi jatuh kurang dari 20 meter maka pemilihan turbin yang memenuhi hanya ada 2 yaitu turbin kaplan dan propeller. Pada penelitian ini dipilih turbin kaplan dikarenakan baling-baling yang dapat disesuaikan dengan diameter *runner* antara 2 sampai 11 meter sehingga mampu melayani debit air yang tinggi.

Spesifikasi turbin Kaplan direncanakan dengan efisiensi sebesar 0,925 berdasarkan grafik hubungan perbandingan debit aktual dan debit desain dengan efisiensi turbin. Sedangkan untuk efisiensi generator sinkron direncanakan sebesar 0,97 sehingga memperoleh daya atau kapasitas listrik sebesar 1753,7289 kilowatt.

SUMMARY

Design of Microhydro Power Plant on Jatimlerek Rubber Dam Plandaan District Jombang Regency; Aida Putri Ariansyah, 141910301106; Jurusan Teknik Sipil; Fakultas Teknik Universitas Jember.

Availability of electricity is now a requirement that is quite important to support human activity. Based on RUPTL PLN 2017-2026, power demand on Java-Bali region has increased up to 7,2% a year. It could be fulfilled by the cooperation between PT PLN and any other investor in order to serve energy providing.

As the technology advances, the world of electricity has long introduced a renewable energy that can be used as a power plant. One of them is Hydro Power Plant which is a kind of power plant that utilized highness and the amount of water flow. Hydro Power Plant works by converting potential energy of water into kinetic energy that drives turbines and generators.

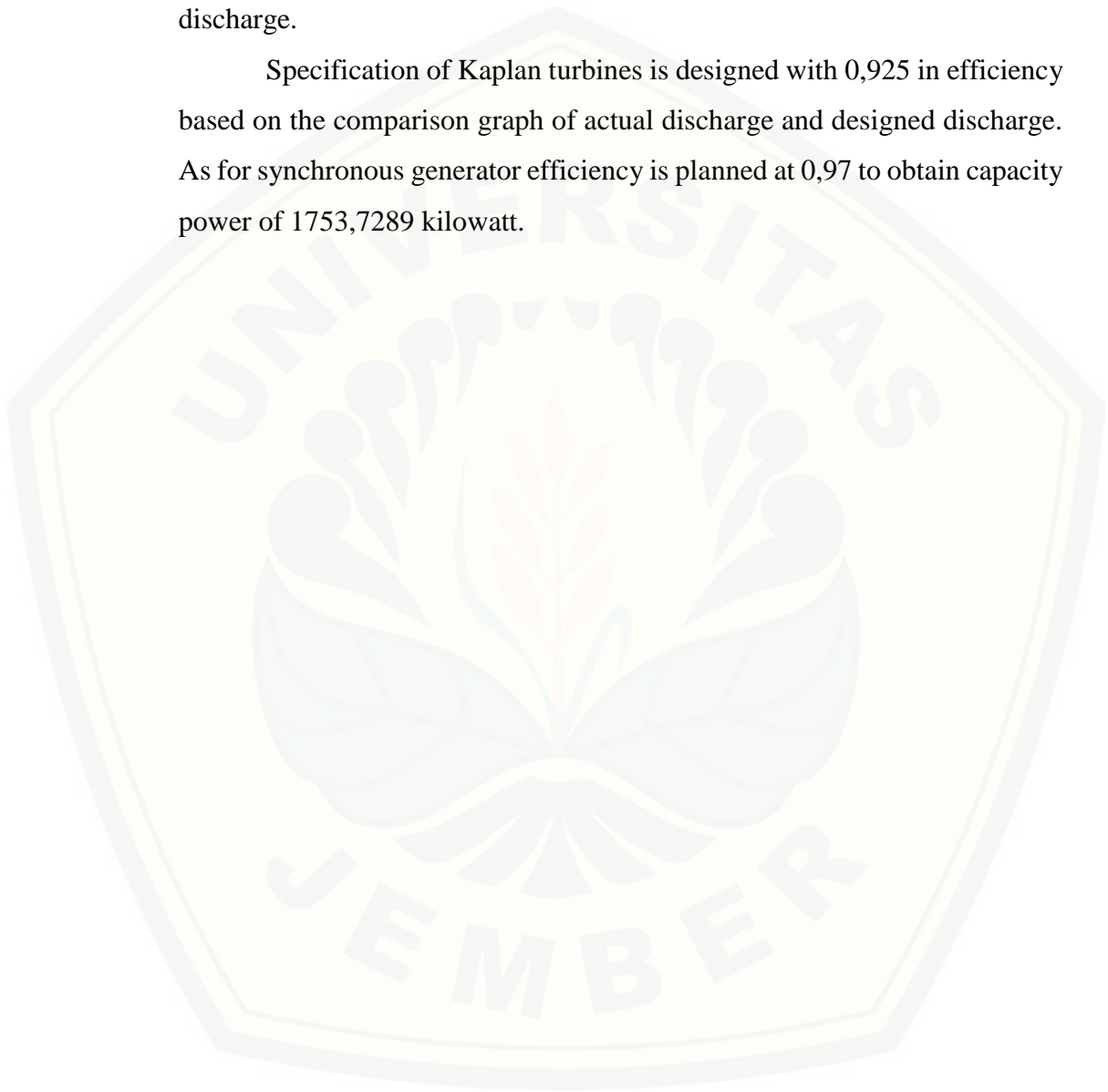
The second longest river aside from Bengawan Solo in Central Java, there is Brantas in East Java that carries huge water flow. On the Brantas' riverbody actually on Jatimlerek village, there is a rubber dam used to increase water level for irrigation. The ability of the discharge, it is not to be impossible to utilize it as a power plant.

Design of Hydro Power Plant is conducted around Jatimlerek rubber dam which is located on Plandaan Regency Jombang District. Preliminary design is determined by head and flow discharge. The discharge is obtained by collecting data of flow recording in the last 10 years and processing it by using Flow Duration Curve (FDC) method to find the optimal flow. Furthermore, identifying the situation map to get the highest head. The most important part of this design is to know how much capacity of electrical power that can be raised.

Based on the estimation, the discharge for raising this power system is 45,231 m³/second with the probability at 70%. Head is set 4,505 meters

based on the calculation of field elevation. With the head is less than 20 meters, then the selection of turbines are only 2, Kaplan dan Propeller turbines. In this study, Kaplan turbines in choosed due to propellers that can be adjusted with a 2-11 meters of runner diameter so it can serve high water discharge.

Specification of Kaplan turbines is designed with 0,925 in efficiency based on the comparison graph of actual discharge and designed discharge. As for synchronous generator efficiency is planned at 0,97 to obtain capacity power of 1753,7289 kilowatt.



PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena hanya dengan ridho dan karuniaNya semata penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro pada Bendung Karet Jatimlerek Kecamatan Plandaan Kabupaten Jombang" sebagai persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih khususnya kepada :

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Ir. Hernu Suyoso, M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember
3. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M sebagai Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T sebagai Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu untuk membimbing penyelesaian tugas akhir ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis menyadari masih banyak kekurangan. Kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk selanjutnya agar lebih baik. Akhirnya penulis harap semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Jember, 16 Maret 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN.....	v
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR GRAFIK	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sumber Energi Terbarukan	4
2.2 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Air	4
2.3 Debit Air.....	7
2.4 <i>Flow Duration Curve (FDC</i>	
2.4.1 Flow Duration Curve Tunggal.....	9
2.4.2 Flow Duration Curve Majemuk.....	9

2.5	Tinggi Jatuh Air (<i>head</i>).....	10
2.6	Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	11
2.7	Komponen PLTA	
2.7.1	Bendung (<i>Weir</i>)	12
2.7.2	Bangunan Pengambil (<i>Intake</i>)	16
2.7.3	Saluran Pembawa	18
2.7.4	Forebay dan Trashrack	20
2.7.5	Penstock.....	22
2.7.6	Pemilihan Turbin	25

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Lokasi Penelitian.....	28
3.2	Tahapan Perencanaan	29
3.3	Diagram Alir Perencanaan	31
3.4	Perhitungan Komponen PLTA	32
3.5	Perhitungan Bangunan Sipil PLTA	33

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

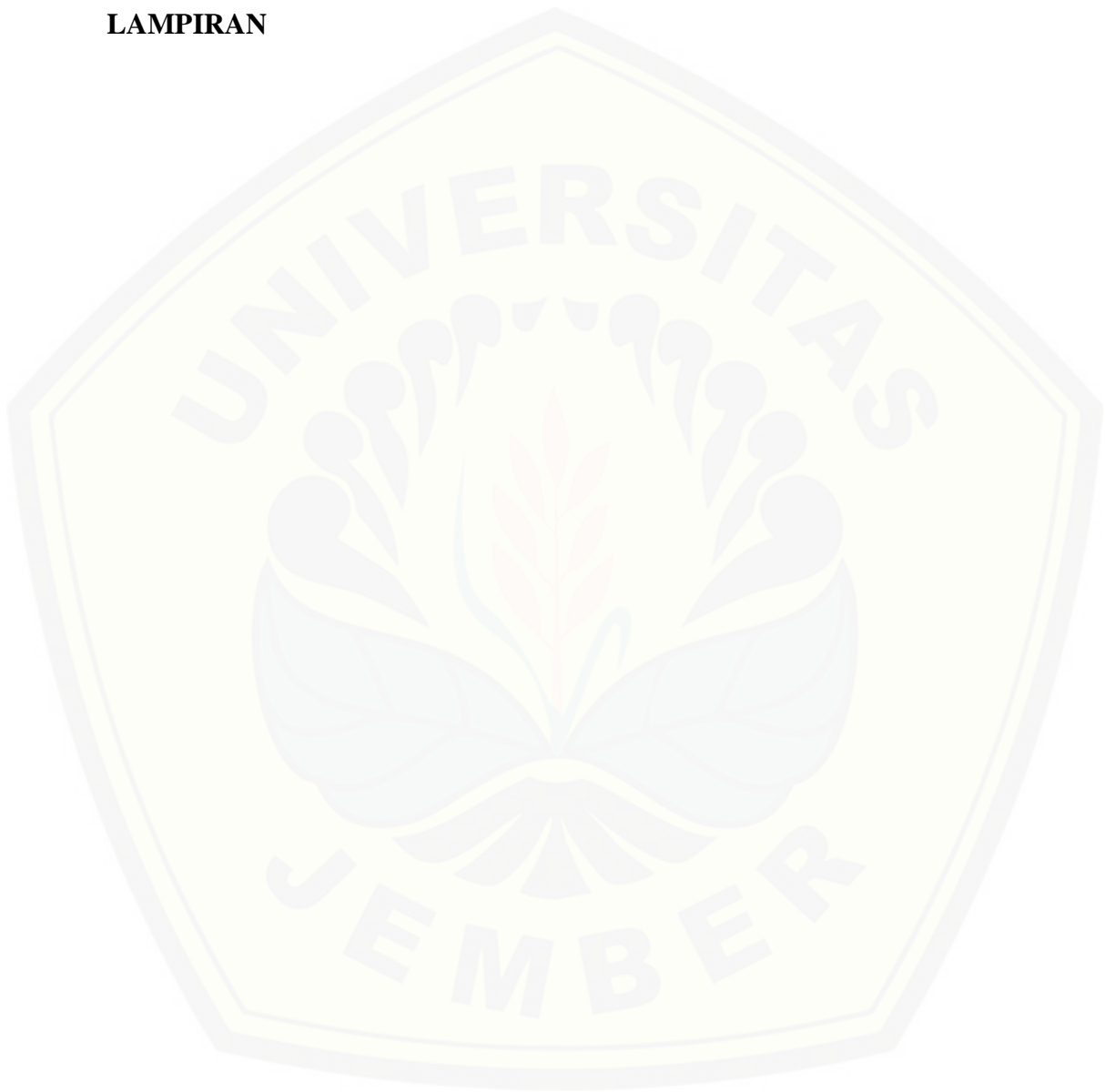
4.1	Pemilihan Lokasi Pembangkitan.....	34
4.2	Perhitungan Tinggi Jatuh Air.....	34
4.3	Pemilihan Turbin.....	36
4.4	Analisis Hidrologi	
4.4.1	Perhitungan Kurva Durasi Debit	37
4.4.2	Pemilihan Debit Rencana	41
4.5	Penentuan Dimensi Bangunan Sipil	
4.5.1	Perencanaan Pintu Pengambilan (<i>Intake</i>)	44
4.5.2	Dimensi Saluran Pembawa (<i>Waterway</i>)	46
4.5.3	<i>Trashrack</i>	48
4.5.4	Forebay	49
4.5.5	Penstock	49
4.5.6	<i>Power House</i> dan <i>Tailrace</i>	52

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

2.1	Tabel Klasifikasi PLTA	5
2.2	Tabel Koefisien Kekasaran Saluran	19
2.3	Tabel Penampang Saluran	20
2.4	Tabel Nilai k	24
2.5	Tabel Nilai K_b	24
2.6	Tabel Jenis Turbin	27
4.1	Rekapitulasi Nilai Kehilangan Energi	35
4.2	Tabel Debit Rerata Harian Bendung Jatimlerek	38
4.3	Tabel Probabilitas Durasi Debit	39
4.4	Tabel Rekapitulasi <i>Capacity Factor</i>	42

DAFTAR GAMBAR

2.1	Gambar Skema PLTA	6
2.2	Flow Duration Curve Tunggal.....	9
2.3	Flow Duration Curve Tunggal.....	10
2.4	Skema Perhitungan Head	11
2.5	Gambar Bendung Tetap	13
2.6	Gambar Bendung Gerak dengan Pintu	14
2.7	Gambar Bendung Gerak dengan Pintu Karet.....	14
2.8	Gambar Bendung Permanen.....	15
2.9	Gambar Bendung Bronjong Semi-permanen.....	15
2.10	Gambar Bendung Darurat	16
2.11	Bangunan Intake	17
2.12	Penampang Melintang Saluran.....	18
2.13	Nilai Kt pada Trashrack	21
2.14	Potongan Trashrack.....	21
2.15	Garis energy dalam Pipa	22
2.16	Nilai Ke.....	23
2.17	Turbin Air	25
2.18	Perbedaan Turbin Impuls dan Reaksi	26
3.1	Peta Kecamatan Plandaan	29
3.2	Lokasi Bendung Jatimlerek	29
3.3	Diagram Alir Perencanaan	32
4.1	Peta Situasi Bendung Karet Jatimlerek.....	35
4.2	Pintu Intake	45
4.3	Penstock	49
4.4	Denah Powerhouse.....	52

DAFTAR GRAFIK

4.1	Grafik Efisiensi Turbin	37
4.2	Grafik Kurva Durasi Aliran.....	40



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Perhitungan Kapasitas dan energy Terpasang dalam Berbagai Probabilitas
- Lampiran 2. Perhitungan CF pada Probabilitas 50%
- Lampiran 3. Perhitungan CF pada Probabilitas 55%
- Lampiran 4. Perhitungan CF pada Probabilitas 60%
- Lampiran 5. Perhitungan CF pada Probabilitas 65%
- Lampiran 6. Perhitungan CF pada Probabilitas 70%
- Lampiran 7. Perhitungan CF pada Probabilitas 75%
- Lampiran 8. Perhitungan CF pada Probabilitas 80%
- Lampiran 9. Perhitungan CF pada Probabilitas 85%
- Lampiran 10. Perhitungan CF pada Probabilitas 90%
- Lampiran 11. Perhitungan CF pada Probabilitas 95%
- Lampiran 12. Rekapitulasi Berbagai Probabilitas
- Lampiran 13. Grafik Perbandingan Probabilitas Debit dengan Kapasitas
- Lampiran 14. Grafik Hubungan Debit dan Tinggi Muka Air di Hilir
- Lampiran 15. Gambar Desain

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Ketersediaan listrik saat ini merupakan kebutuhan yang cukup penting untuk menunjang aktivitas manusia terutama pada malam hari. Berdasarkan keterangan dari Direktur Bisnis Regional Jawa Timur – Bali PT. PLN (Persero), saat ini daya mampu sistem penyediaan listrik di Jawa – Bali mencapai 31.400 MW. Angka tersebut masih mampu untuk mengatasi beban puncak listrik di Jawa – Bali sebesar 23.400 MW, artinya masih tersisa 8000 MW atau sebesar 26%. Hanya saja prosentase tersebut belum memenuhi angka cadangan listrik seharusnya yaitu 30%. Tanpa tambahan pasokan listrik, angka tersebut tidak lagi memadai dalam tiga tahun kedepan mengingat permintaan listrik wilayah Jawa – Bali meningkat rata-rata 7,2% setiap tahunnya (RUPTL PT.PLN 2017-2016).

Peraturan Menteri ESDM Nomor 50 Tahun 2017 yang menyatakan bahwa pihak swasta dapat dapat bekerja sama dengan PT. PLN dalam usaha penyediaan listrik semakin membuka peluang pada bidang keteknikan. Seiring dengan berkembangnya teknologi, dunia kelistrikan telah lama memperkenalkan Energi Baru Terbarukan (EBT) yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Pembangkit listrik yang telah ada di Indonesia hingga saat ini adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTG).

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan ketinggian dan debit air dalam jumlah tertentu sehingga dapat menggerakkan turbin dan generator (Arismunandar, 2004). Selain faktor tata letak sungai, tinggi jatuhnya air dapat diperoleh dengan cara membendung sungai sehingga permukaan air menjadi tinggi.

Pembangkit listrik yang banyak ditemui di Indonesia merupakan jenis *run off river*. Jenis tersebut memanfaatkan aliran sungai yang ada dan dibendung untuk mendapatkan ketinggian muka air yang diinginkan. Seperti yang ada di badan sungai Brantas tepatnya di desa Jatimlerek Kecamatan Plandaan Kabupaten

Jombang terdapat sebuah bendung karet yang dibangun sejak tahun 1991 oleh perusahaan konstruksi asal Jepang. Bendung yang difungsikan sebagai saluran irigasi tersebut dibangun di tengah aliran sungai dengan tinggi 2,10 meter dan bentang lebih kurang 137,5 meter yang dibagi menjadi 6 pintu air dengan perbedaan panjang bentang. Telah dilakukan analisis kelayakan secara teknik, ekonomi, lingkungan, dan sosial bahwa Bendungan Jatimlerek berpotensi optimum dari segi energi listrik yang dihasilkan dan dari segi perhitungan finansial (Budiono, dkk, 2011).

Berdasarkan uraian di atas penulis tertarik untuk meneliti tentang “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro pada Bendung Karet Jatimlerek Kecamatan Plandaan Kabupaten Jombang”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka permasalahan penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana desain Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang optimum?
2. Berapa besarnya energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada analisis hidrolika Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro serta energi listrik yang dihasilkan dengan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Penelitian ini tidak membahas tentang ekonomi teknik (RAB)
2. Penelitian ini tidak membahas tentang kekuatan struktur secara detail dan terperinci
3. Pembahasan mengenai peralatan mekanikal-elektrikal hanya pada pemilihan alat sesuai klasifikasi

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian dalam penulisan ini adalah sebagai berikut :

1. Memperoleh desain Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang optimum
2. Mengetahui besarnya energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit.

1.5 Manfaat

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Menambah wawasan dan pengetahuan serta menerapkan teori yang dapat di aplikasikan dalam kehidupan bermasyarakat.
2. Dapat menjadi bahan pertimbangan bagi instansi yang berwenang untuk membuat desain Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Bendung Karet Jatimlerek.
3. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam membantu kesejahteraan masyarakat di wilayah setempat dalam bentuk ketersediaan listrik.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sumber Energi Terbarukan

Energi secara fisika merupakan bentuk besaran yang dinyatakan dalam satuan yang berbeda-beda tergantung pada energi yang dihasilkan. Dalam konteks kelistrikan, besaran energi biasa dinyatakan dalam satuan watt. Besaran energi adalah kekal, artinya energi tidak dapat dibuat ataupun dihilangkan tetapi dapat diubah menjadi bentuk lain (Anonim, 2011).

Konsep dasar dari sumber energi terbarukan adalah ketersediaannya yang relatif stabil atau selalu ada dalam jangka waktu yang panjang atau sering dikenal sebagai *sustainable energy*. Sumber energi tersebut dicetuskan sejak tahun 1970 sebagai pengganti sumber energi berbahan fosil atau minyak bumi yang memiliki proses regenerasi yang cukup lama yakni mencapai jutaan tahun. Adanya sumber energi yang dapat diperbarui tersebut diharapkan dapat menjadi sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.

Melalui riset dan penemuan teknologi terbaru, pemanfaatan sumber energi menjadi salah satu upaya untuk terus melakukan pembangunan berkelanjutan. Di samping energi berbahan fosil, sumber energi terbarukan yang sering dimanfaatkan antara lain adalah tenaga surya, panas bumi, uap, angin, dan air (hydropower). Energi yang dihasilkan tidak berlangsung secara otomatis, dibutuhkan instalasi untuk merubah bentuk energi panas maupun energi mekanis menjadi energi listrik.

Berdasarkan tingkat penggunaannya, air menjadi energi yang paling sering ditemukan sebagai pembangkit listrik dibanding sumber energi lain dikarenakan instalasinya yang relatif mudah dibanding dengan sumber energi lain. Selain itu, air memiliki berat yang jauh lebih besar dari udara. Aliran air yang pelan pun dapat menghasilkan energi yang lebih besar daripada energi yang dihasilkan oleh angin.

2.2 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Air

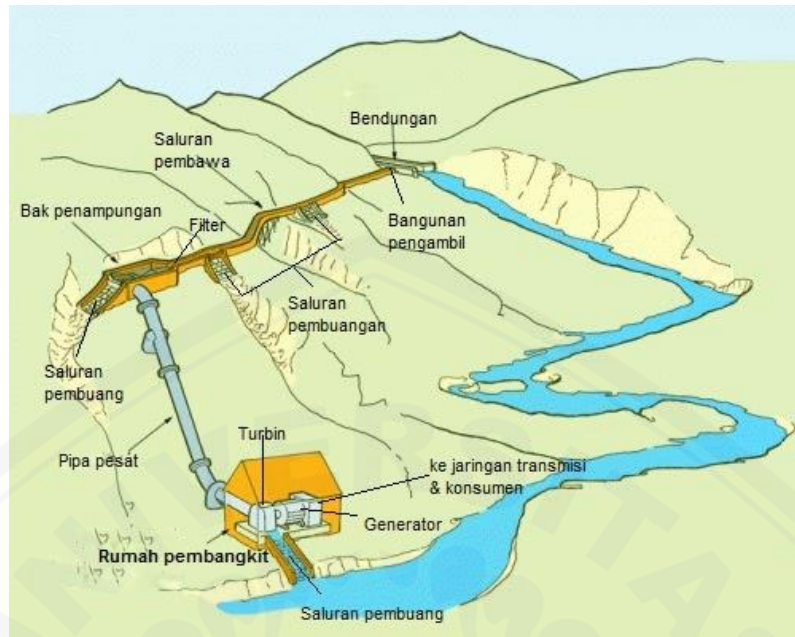
Pembangkit Listrik Tenaga Air merupakan pembangkit yang memanfaatkan aliran air sebagai penggerak utama turbin. Tenaga air yang digunakan dapat berasal dari aliran sungai irigasi, sungai yang dibendung ataupun air terjun (Ismono, 1999). Pada praktiknya di lapangan, PLTA diklasifikasikan berdasarkan besarnya tenaga listrik yang dihasilkan meskipun pada dasarnya memiliki prinsip kerja yang sama. Adapun klasifikasinya adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Klasifikasi PLTA

NO	Jenis PLTA	Kapasitas Daya yang Dihasilkan
1.	PLTA besar	>100 MW
2.	PLTA menengah	15 - 100 MW
3.	PLTA kecil	1-15 MW
4.	PLTM (minihidro)	100 kW - 1 MW
5.	PLTMH (mikrohidro)	5 - 100 kW
6.	Picohidro	<5 kW

(Sumber : Prayogo, 2003)

Kondisi air tersebut digunakan sebagai sumber daya penghasil listrik yang berasal dari aliran air dan ketinggian tertentu dari instalasi. Banyaknya energi listrik yang dihasilkan berbanding lurus dengan kedua variable di atas. Istilah kapasitas aliran air biasa disebut sebagai debit, sedangkan ketinggian sering disebut sebagai *head*. Semakin besar nilai debit maupun *head* dari instalasi maka energi listrik yang dihasilkan juga akan semakin besar (Arismunandar, 2004)



(Sumber : Pencarian Google)

Gambar 2.1 Skema PLTA

Konversi energi secara matematis ditulis sebagai berikut :

$$P = \eta_t \cdot \eta_g \cdot g \cdot Qd \cdot Hn \quad (2.1)$$

$$E = P \cdot 8760 \quad (2.2)$$

dengan :

- P : Daya (kW)
- η_t : efisiensi turbin
- η_g : efisiensi generator
- Qd : debit perencanaan (m³/dtk)
- Hn : tinggi jatuh bersih (m)
- E : energy (kWh)

(Sumber : Fritz Dietzel, 1980)

Pada perencanaan Pembangkit Listrik dengan menggunakan energi terbarukan, besarnya energi yang dihasilkan selama satu tahun dibandingkan dengan besarnya energi maksimum yang direncanakan, selanjutnya disebut sebagai *Load* atau *Capacity Factor* (Kuiper, 1967).

$$CF = \frac{\Sigma \text{Energi yang dihasilkan dalam 1 tahun (kWh/tahun)}}{\Sigma \text{Kapasitas terpasang (kW) x 8760 jam/tahun}} \quad (2.3)$$

2.3 Debit Air

Debit atau aliran sungai merupakan banyaknya air yang mengalir pada suatu penampang sungai tertentu tiap satuan waktu. Faktor-faktor yang mempengaruhi debit antara lain adalah temperatur, curah hujan, faktor geologi, dan kecepatan aliran sungai (Arismunandar, 2004). Perhitungan debit sangat penting dalam perencanaan pembangunan PLTA sebagai parameter untuk menentukan besarnya daya listrik yang dihasilkan. Selain itu, debit saat banjir juga penting diketahui agar dapat merencanakan bangunan PLTA yang aman.

Pengukuran debit aliran bisa dilakukan dengan cara analitis yaitu dengan menggunakan persamaan :

$$Q = A \cdot v \quad (2.4)$$

Debit aliran yang melalui suatu penampang adalah tetap, sehingga muncul persamaan kontinuitas yang secara matematis ditulis sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_2 \\ A_1 v_1 &= A_2 v_2 \end{aligned} \quad (2.5)$$

dengan :

Q : debit aliran (m^3/dtk)

A : luas penampang sungai atau saluran (m^2)

v : kecepatan aliran (m/dtk)

Pengukuran debit dapat juga dilakukan menggunakan alat *Automatic Water Level Recorder (AWLR)*. Alat tersebut memiliki pelampung yang ditempatkan pada muka air kemudian dihubungkan dengan sensor yang dapat mencatat dinamika tinggi muka air pada kertas *printing*. Data yang tercetak pada kertas tersebut akan diolah menggunakan perangkat lunak berbasis Microsoft Excel sehingga *output* dari data tersebut berupa hidrograf tinggi muka air terhadap waktu atau debit sungai terhadap waktu (Anonim, 2011).

Pada perhitungan debit terdapat istilah debit andalan, yaitu besarnya debit yang tersedia dan selalu ada untuk memenuhi kebutuhan air dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Debit andalan bertujuan untuk menentukan debit perencanaan yang diharapkan selalu tersedia di sungai (Soemarto, 1987).

Berdasarkan probabilitas kejadian mengikuti rumus Weibull :

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

dengan :

- P : kemungkinan terjadinya nilai yang diharapkan selama periode pengamatan (%)
- m : nomor urut kejadian, dengan urutan variasi besar ke kecil
- n : jumlah data

2.4 *Flow Duration Curve (FDC)*

Penentuan debit andalan dari data debit yang sudah tercatat dapat dilakukan dengan menggunakan *Flow Duration Curve*, yaitu grafik hubungan antara debit dengan probabilitasnya dalam kurun waktu tertentu. Perhitungan dengan cara ini memerlukan pencatatan data debit yang cukup panjang yaitu minimal sepuluh tahun (Arismunandar, 2004).

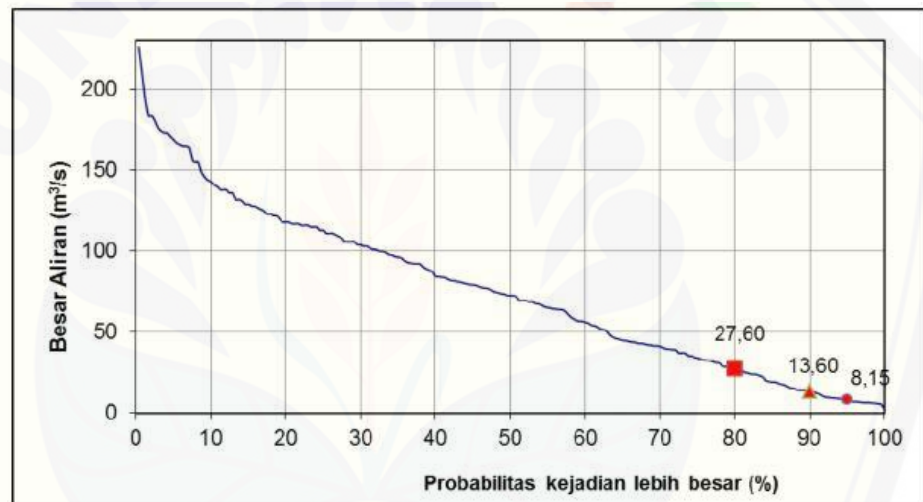
Berdasarkan ketentuan SNI 6378:2015, data yang diperlukan adalah data debit harian hasil pencatatan di lapangan. Apabila data debit tidak ada atau tidak lengkap maka perlu dilakukan simulasi dan uji homogenitas debit terlebih dahulu. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data debit sepuluh tahun terakhir
2. Mengurutkan data debit dari yang terbesar ke terkecil
3. Menghitung probabilitas dari setiap urutan data menggunakan persamaan (2.3)
4. Membuat kurva hasil perhitungan

Pada praktiknya terdapat dua metode perhitungan debit andalan dengan menggunakan *Flow Duration Curve* yaitu dengan cara FDC tunggal dan FDC majemuk.

2.4.1 Flow Duration Curve Tunggal

FDC tunggal atau disebut juga lengkung seri merupakan metode penentuan debit andalan yang umum dilakukan yaitu dengan mengelompokkan data secara keseluruhan tanpa membedakan bulan basah dan bulan kering sehingga lebih praktis dan mudah. Kekurangan dari metode ini adalah hasil debit saat banjir maupun saat musim kemarau sering terjadi ketimpangan (Arismunandar, 2004).

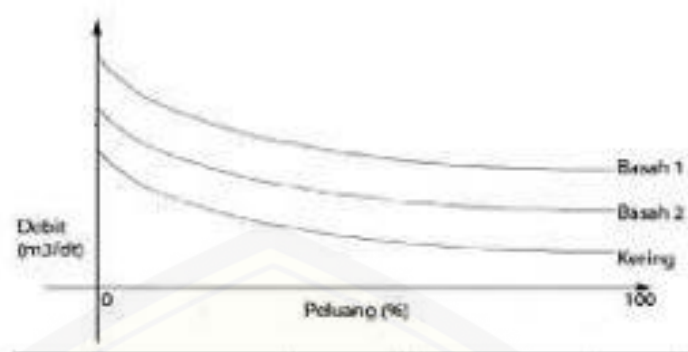


(Sumber : SNI 6378:2015)

Gambar 2.2 *Flow Duration Curve* Tunggal

2.4.2 Flow Duration Curve Majemuk

FDC majemuk merupakan pengembangan dari metode FDC tunggal yaitu dengan pengelompokan bulan basah dan bulan kering. Penentuan bulan basah dan kering didasarkan pada metode Oldeman dengan kadar curah hujan bulanan >200mm untuk bulan basah dan <100mm untuk bulan kering (Anonim, 2011).



(Sumber : Anonim)

Gambar 2.3 *Flow Duration Curve* Majemuk

2.5 Tinggi Jatuh Air (*head*)

Tinggi jatuh air merupakan beda ketinggian yang diukur dari lokasi inlet ke lokasi turbin. Pengukuran tinggi jatuh air dapat dilakukan dengan alat berupa waterpass atau theodolite agar lebih presisi. *Head* yang digunakan dalam perhitungan perencanaan adalah *head* efektif yang dirumuskan sebagai berikut :

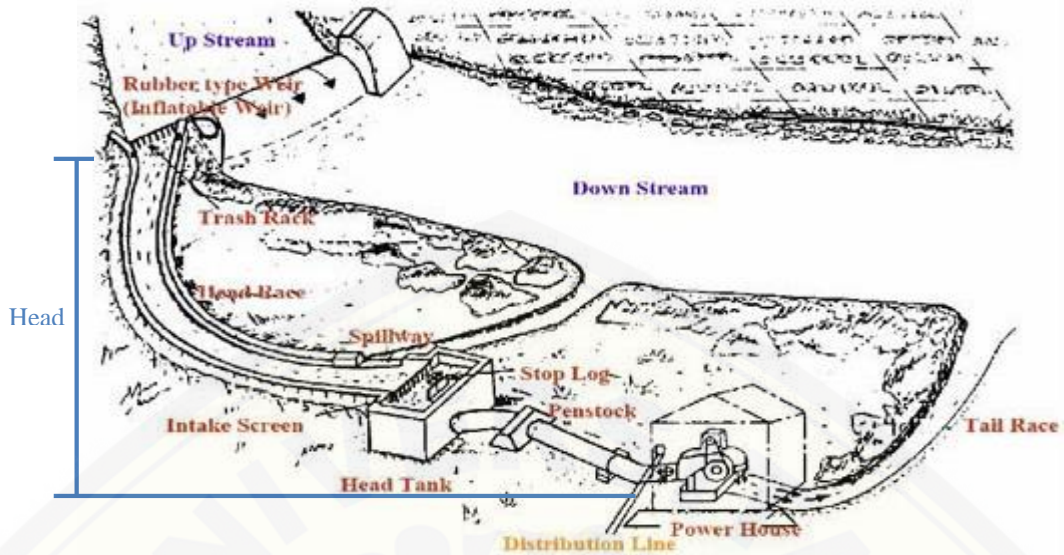
$$H_{netto} = E_{MAW} - TWL - hl \quad (2.7)$$

dengan :

E_{MAW} : elevasi muka air sungai

TWL : elevasi muka air di tailrace

hl : kehilangan energy total



(Sumber : Pencarian Google)

Gambar 2.4 Skema Perhitungan *Head*

2.6 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air

Secara teknis komponen utama PLTA adalah air, turbin, dan generator. Aliran air yang berada pada ketinggian tertentu berfungsi sebagai sumber daya penggerak turbin. Energi potensial yang dimiliki air diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran turbin. Putaran turbin juga akan menggerakkan generator yang mengonversi gerakan berputar menjadi energi listrik (Doland J, 1984). Semakin besar energi potensial yang dimiliki air, semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan (Arismunandar, 2004)

Pembangkit Listrik Tenaga Air ada yang membutuhkan reservoir atau waduk dalam pengaplikasiannya, ada pula memanfaatkan aliran sungai yang ada kemudian dibendung untuk mendapatkan tinggi muka air yang diinginkan. Jenis ini disebut jenis pembangkit listrik *run-off river* (Arismunandar, 2004). Pada bagian bendung juga terdapat bangunan pengambil (*intake*) untuk mengalirkan air sungai menuju instalasi atau *power house*. Sebelum aliran sampai pada rumah listrik, air harus melewati saluran pembawa menuju bak penenang dengan tujuan mengatur agar aliran air menjadi subkritis. Selain itu, adanya saluran pembawa dan bak penenang dapat memperpanjang lintasan air sehingga sedimen-sedimen yang

terbawa air dapat mengendap di tempat yang disediakan. Bak penenang biasanya dilengkapi dengan penyaring (*trashrack*) agar sampah yang terbawa aliran tidak menyumbat saluran selanjutnya yaitu *penstock* atau pipa pesat yang terhubung dengan turbin yang ada pada *power house* bersama dengan generator dan peralatan kontrol. Air yang telah melewati turbin kemudian dialirkan melalui kanal *tailrace* kembali ke sungai.

2.7 Komponen PLTA

2.7.1 Bendung (*Weir*)

Bendung merupakan bangunan melintang sungai yang berfungsi untuk meninggikan muka air sehingga air bisa disadap dan dialirkan ke tempat yang membutuhkan melalui saluran atau bangunan pengambilan (*intake structure*), dan untuk mengendalikan aliran, angkutan sedimen dan geometri sungai sehingga air dapat dimanfaatkan secara aman, efisien, dan optimal, (Mawardi & Memet, 2010).

Bendung diklasifikasikan berdasarkan fungsi, struktur, dan sifatnya (Mawardi & Memet, 2010), yaitu :

1. Berdasarkan fungsi
 - a. Bendung penyadap, fungsi dari bendung tersebut adalah untuk meninggikan muka air yang kemudian disadap untuk keperluan irigasi, air baku, pembangkit listrik, dan sebagainya.
 - b. Bendung pengendali banjir, dibangun pada percabangan sungai sehingga dapat mengatur debit banjir dengan debit kapasitas minimumnya.
 - c. Bendung penahan pasang, sering dijumpai di muara sungai yang bertemu langsung dengan pantai dan berfungsi untuk menahan pasang surut air laut sehingga air asin tidak masuk pada aliran sungai.
2. Berdasarkan tipe struktur
 - a. Bendung tetap, merupakan bendung yang memiliki tinggi pembendungan tetap. Artinya tinggi muka air yang dapat ditahan

oleh bendung tidak dapat diubah-ubah. Biasanya dibangun pada hulu sungai yang memiliki tebing relatif lebih curam.



(Sumber : Pencarian Google)

Gambar 2.5 Bendung Tetap

- b. Bendung gerak, adalah bendung yang memiliki pintu air sehingga elevasi muka air dapat dinaikkan ataupun diturunkan dengan membuka dan menutup pintu air tersebut. Bendung tipe ini sering ditemukan di bagian hilir sungai karena konturnya yang relatif landai sehingga sangat mungkin terjadi banjir. Untuk mengatasi hal tersebut, bendung gerak dibangun agar pintu air dapat dibuka ketika debit sungai meningkat dan sebaliknya dapat ditutup ketika debit sungai menurun.



(Sumber : Pencarian Google)

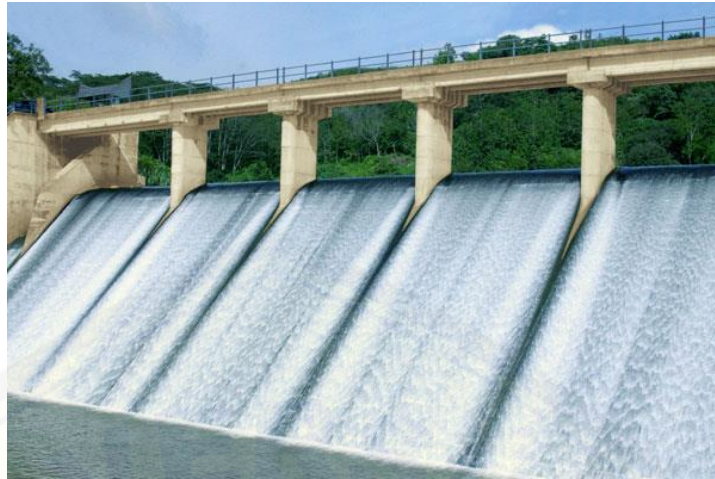
Gambar 2.6 Bendung Gerak dengan Pintu Air



(Sumber : Pencarian Google)

Gambar 2.7 Bendung Gerak dengan Pintu Karet

3. Berdasarkan sifat
 - a. Bendung permanen, merupakan bendung yang dibangun secara permanen. Biasanya terbuat dari pasangan batu, beton, maupun kombinasi pasangan batu dengan beton.



(Sumber : Pencarian Google)

Gambar 2.8 Bendung Permanen

- b. Bendung semi-permanen, yaitu bendung yang dibangun dengan cara menumpuk batuan yang biasanya diikat dengan kawat bronjong yang fungsinya untuk meninggikan elevasi muka air.



(Sumber : Pencarian Google)

Gambar 2.9 Bendung Bronjong Semi-permanen

- c. Bendung darurat, adalah bendung sederhana yang dibangun karena keadaan darurat misalnya sebagai sumber air untuk mencuci saat aliran sungai sangat sedikit. Biasanya terbuat dari tumpukan kayu atau batu.



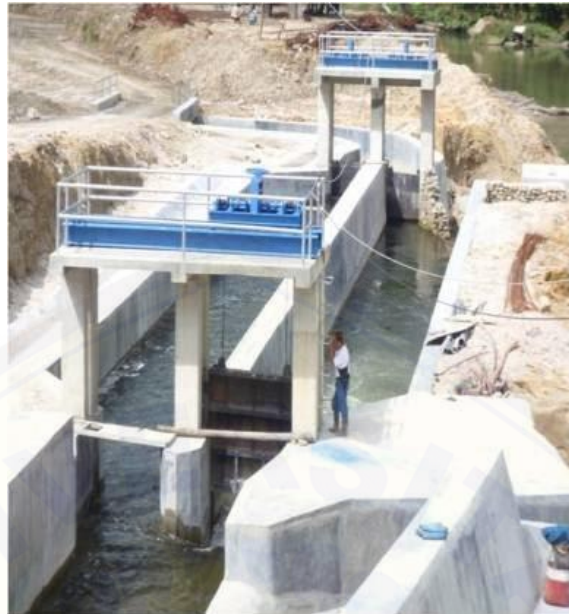
(Sumber : Pencarian Google)

Gambar 2.10 Bendung Darurat

2.7.2 Bangunan Pengambil (*Intake*)

Bangunan pengambil (*intake*) merupakan saluran yang dibangun pada sisi sungai berupa pintu air. Fungsinya untuk membelokkan aliran sungai dengan debit tertentu untuk kepentingan irigasi dan pengaliran pada saluran pembangkit listrik tenaga air. Struktur bangunan pengambil dilengkapi dengan pintu ambang rendah dan saringan dengan tujuan agar pada saat debit banjir, pintu dapat ditutup sehingga air tidak meluber ke saluran induk (Standar Perencanaan Irigasi KP-02 Bagian Bangunan Utama, 2010).

Banyaknya air yang dialirkan oleh bangunan pengambil ke saluran selanjutnya dipengaruhi oleh tinggi muka air sungai yang selalu bervariasi tergantung debit pengaliran sungai pada saat itu. Pemilihan lokasi bangunan *intake* harus memperhatikan stabilitas dan ketentuannya tercantum dalam SNI 03-1731-1989 tentang Pedoman Perencanaan Bendungan Bangunan Sipil. Pemilihan lokasi bangunan yang tepat dapat menghindari masalah-masalah yang mungkin terjadi di kemudian hari.



(Sumber : Pencarian Google)

Gambar 2.11 Bangunan *Intake*

Perancangan dimensi *intake* membutuhkan parameter-parameter yang harus diketahui, yaitu kecepatan (v), dan luas penampang (A). Perhitungan yang bisa dipakai dapat digunakan rumus-rumus hidrolika :

1. Rumus umum kecepatan (V)

$$V = Q / A \quad (2.8)$$

dengan : V = kecepatan (m/dt)

Q = debit (m^3/dt)

A = luas penampang (m)

2. Debit rencana (Q_n)

$$Q_n = 1,2 \cdot Q \quad (2.9)$$

dengan :

Q_n : debit rencana (m^3/dtk)

Q : kebutuhan air di PLTMH (m^3/dtk)

1,2 merupakan angka jagaan untuk pemenuhan kebutuhan selama umur proyek.

3. Debit rencana yang diperoleh dimasukkan pada persamaan :

$$Q_n = \mu \cdot a \cdot b \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \quad (2.10)$$

dengan :

μ = koefisien debit (0,8 - 0,9)

a = tinggi bukaan (m)

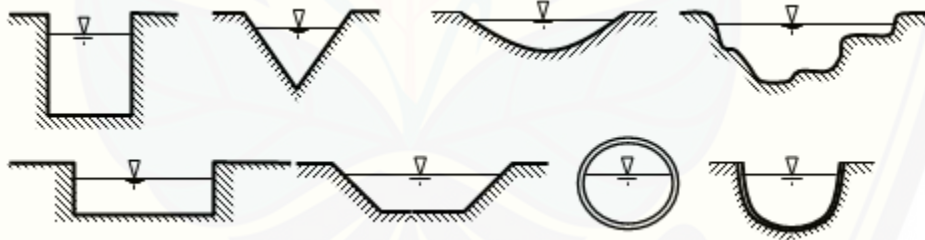
b = lebar bukaan (m)

g = gaya gravitasi = 9,81 m/det²

z = kehilangan tinggi energi pada bukaan antara 0,20 – 0,30m

2.7.3 Saluran Pembawa (*Waterway*)

Saluran pembawa merupakan bangunan sipil yang berfungsi untuk mengalirkan air dari *intake* menuju rute selanjutnya. Saluran tersebut dibangun berdasarkan kontur untuk menjaga elevasi muka air. Jenis saluran pembawa dapat berupa saluran tertutup maupun terbuka. Pada saluran tertutup, air dialirkan melalui pipa berupa gorong-gorong atau siphon. Sedangkan pada saluran terbuka air mengalir melalui lintasan menyerupai parit dengan penampang bervariasi (Anonim, 2016).



(Sumber : Pencarian Google)

Gambar 2.12 Penampang Melintang Saluran

Perhitungan saluran pembawa didasarkan pada persamaan hidrolika sebagai berikut :

$$Q = v \cdot A \quad (2.11)$$

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (2.12)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (2.13)$$

dengan :

Q : debit aliran (m^3/dtk)

v : kecepatan aliran (m/dtk)

A : luas penampang saluran (m^2)

n : koefisien kekasaran saluran

I : kemiringan dasar saluran (m)

Koefisien kekasaran saluran Manning, dapat dilihat pada tabel berikut:

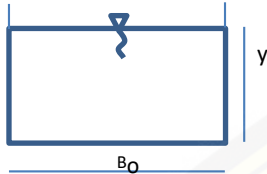
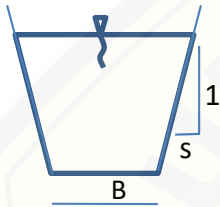
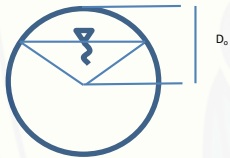
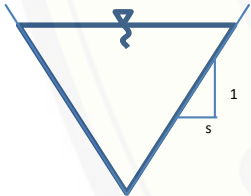
Tabel 2.2 Tabel Koefisien Kekasaran Saluran

NO	Tipe Saluran	Nilai Kekasaran n		
		Minimum	Normal	Maksimum
1	Beton			
	Gorong-gorong lurus	0,010	0,011	0,013
	Gorong-gorong berkelok	0,011	0,013	0,014
	Beton dipoles	0,015	0,017	0,020
2	Tanah			
	Bersih, baru dibuat	0,016	0,018	0,020
	Bersih, telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	Berkerikil	0,022	0,027	0,033
	Berumput pendek	0,022	0,027	0,033
3	Saluran Alam			
	Bersih, lurus	0,025	0,030	0,033
	Bersih, berkelok-kelok	0,033	0,040	0,045
	Banyak tanaman pengganggu	0,035	0,045	0,050

Sumber : Te Chow, Van : 1992

Perhitungan penampang saluran dirumuskan berdasarkan bentuk saluran, sesuai pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.3 Penampang Saluran

Bentuk	A (1)	P (2)	B (3)	D (4)
	$B_0 \cdot y$	$B_0 + 2y$	B_0	y
	$(B_0 + sy)y$	$B_0 + 2y\sqrt{1 + s^2}$	$B_0 + 2sy$	$\frac{(B_0 + sy)y}{B_0 + 2sy}$
	$\frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)D_0^2$	$\frac{1}{2}\theta D_0$	$D_0 \sin \frac{1}{2}\theta$	$\frac{1}{8} \left(\frac{\theta - \sin\theta}{\sin \frac{1}{2}\theta} \right) D$
	$s \cdot y^2$	$2y\sqrt{1 + s^2}$	$2sy$	$0,5y$

2.7.4 Forebay dan Trashrack

Pada dasarnya perhitungan saluran pembilas (*forebay*) sama seperti saat menghitung saluran pembawa. Hal tersebut dikarenakan fungsi dari *forebay* adalah untuk menampung debit aliran sebelum air memasuki penstock. Syarat yang harus dipenuhi oleh air sebelum memasuki penstock adalah air harus terbebas dari kotoran agar tidak menyumbat saluran. Oleh karena itu, pada saluran pembilas diberi *trashrack* atau penyaring yang dihitung melalui persamaan :

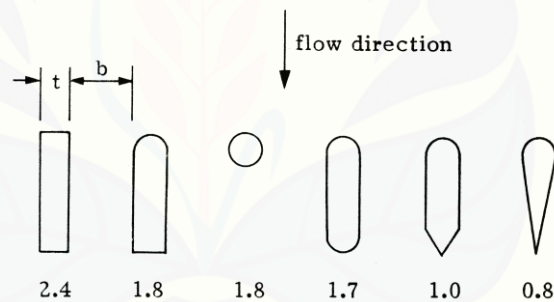
Menurut O. Kirschmer :

$$h_c = K_t * \left(\frac{s}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{v^2}{2g} * \sin \alpha \quad (2.14)$$

dengan :

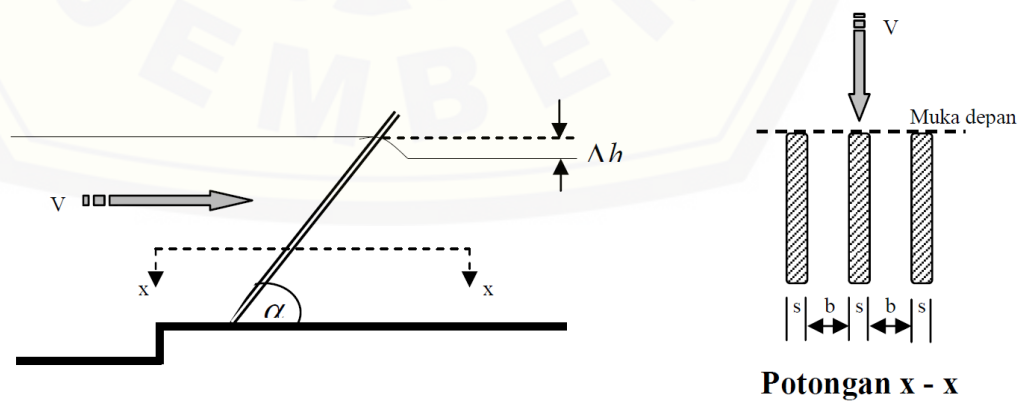
- Q = koefisien penumpang kisi
- δ = tebal (m)
- b = jarak antar *trashrack* (m)
- V = kecepatan air dalam pipa (m/dt)
- g = percepatan gravitasi (m/det²)

Nilai ψ didasarkan pada fabrikasi profil *trashrack*, tercantum pada gambar di bawah ini :



(Sumber : Warwick University)

Gambar 2.13 Nilai K_t pada *trashrack*



Sumber : Anonim

Gambar 2.14 Potongan *trashrack*

2.7.5 Penstock

Perancangan pipa penstock pada perencanaan PLTA merupakan komponen yang sangat penting. Ukuran pipa ini menyesuaikan dengan debit yang ada di sungai. Perhitungan aliran pada pipa pesat (penstock) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan aliran pada pipa sebagai berikut :

Menghitung luas penampang pipa

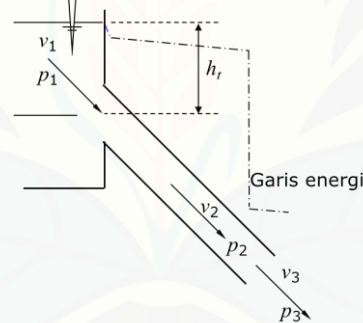
$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (2.15)$$

dengan :

A : luas penampang lingkaran (m²)

D : adalah diameter pipa (m)

Menghitung besarnya kecepatan aliran di dalam pipa



Sumber : Warwick University

Gambar 2.15 Garis Energi Aliran dalam Pipa

$$v_1 = v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_t} \quad (2.16)$$






dengan h_t adalah tinggi air di atas lubang

Pada saluran tertutup atau pipa, kehilangan energi dapat terjadi karena hal-hal berikut :

1. Kehilangan akibat bentuk bibir lubang, dapat dihitung menggunakan persamaan

$$h_e = K_e * \frac{v^2}{2g} \quad (2.17)$$

Nilai K_e dapat dilihat pada gambar tabel berikut :

Type	Bentuk	Nilai K_e
Runcing		1.0
Menjorok		0.8
Ujung Tegas		0.5
Sedikit Membulat		0.2
Mulut lonceng ($r > 0,14D$)		0

Sumber : Warwick University

Gambar 2.16 Nilai K_e

2. Kehilangan akibat gesekan dengan dinding saluran,

$$h_f = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \frac{v^2}{2g} \quad (2.18)$$

dengan :

f : koefisien gesek pada pipa, dihitung berdasarkan nilai bilangan Reynold

L : panjang pipa (m)

D : diameter pipa (m)

v : kecepatan aliran (m/s)

g : gaya gravitasi (m/s^2)

rumus nilai f untuk aliran turbulen berdasarkan persamaan Nikuradse

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3,7 \cdot D}{k} \quad (2.19)$$

dengan nilai k dapat dilihat pada tabel :

Tabel 2.4 Nilai k

Jenis Pipa (Baru)	Nilai k (mm)
kaca	0,0015
besi dilapis aspal	0,06 - 0,24
besi tuang	0,18 - 0,90
plester semen	0,27 - 1,20
beton	0,30 - 3,00
baja	0,03 - 0,09
baja keling	0,90 - 9,00
pasangan batu	6

Sumber : Triatmodjo : 1994

3. Kehilangan akibat belokan

$$h_e = K_b * \frac{v^2}{2g} \quad (2.20)$$

Nilai K_b dapat dilihat pada tabel besarnya sudut belokan

Tabel 2.5 Nilai K_b

Sudut Belokan	20	40	60	80	90
K_b	0.05	0.14	0.36	0.74	0.98

Sumber : Triatmodjo, 1994

Dimensi penstock harus stabil terhadap tekanan akibat *water hammer* dan tekanan hidrostatik, maka dihitung dengan rumus :

1. Akibat *water hammer*

$$P = \left(\frac{\alpha v}{2gH} \right) < 1 \quad (2.20)$$

$$\alpha = \frac{1000}{\left[50 + k \frac{D}{t_p} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2.21)$$

dengan :

α : cepat rambat gelombang tekanan (m/dtk)

H : tekanan hidrostatik

v : kecepatan rata-rata aliran (m/dtk)

k : 0,5 untuk baja

1 untuk besi tuang

2. Akibat tekanan hidrostatik

$$\sigma = \frac{P \cdot R}{(t_p - \varepsilon) \eta} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (2.22)$$

dengan :

P = Tekanan air dalam pipa pesat (kg/cm²)

$$= 0,1 \cdot H_{\text{dyn}} = 0,1 \cdot (1,2H)$$

H = Tinggi terjun desain (m)

$$= 95\% \cdot \text{Gross head}$$

R = Luas basah = 0,5 (D + ε)

D = Diameter dalam pipa (m)

t_p = Tebal plat (mm)

ε = Korosi plat yang diijinkan (1-3 mm)

η = Efisiensi sambungan las = 0,85

3. Tumpuan penstock

$$L = 182,61 * \left\{ \frac{[(D+0,0147)^4 - D^4]}{P} \right\}^{0,333} \quad (2.23)$$

dengan :

D : diameter dalam penstock

P : Berat satuan dalam keadaan penuh berisi air (kg/m)

P : $W_{\text{pipa}} + W_{\text{air}}$

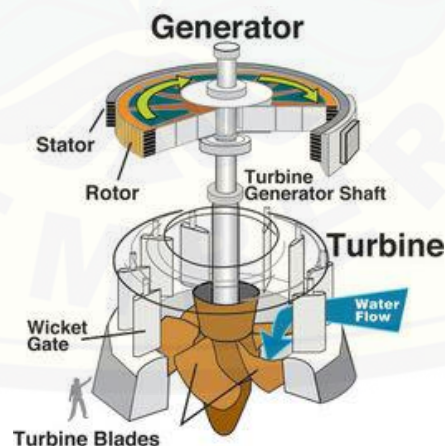
$W_{\text{pipa}} : \pi D t \rho_{\text{baja}}$

$W_{\text{air}} : 0,25\pi D^2 t \rho_{\text{air}}$

2.7.6 Pemilihan Turbin

Turbin merupakan sebuah konstruksi mekanik yang terdiri atas roda dan poros-poros. Roda tersebut akan berputar ketika terkena air dengan kecepatan tertentu. Penggunaan turbin sebagai penggerak generator dalam membangkitkan tenaga air dipilih karena faktor-faktor berikut :

1. Efisiensi yang baik dan tidak banyak berubah
2. Putaran yang cukup tinggi sehingga dapat dikopel dengan generator
3. Dapat dikonstruksikan secara vertical maupun horizontal
4. Dapat memanfaatkan beda ketinggian yang bervariasi



Sumber : Pencarian Google

Gambar 2.17 Turbin Air

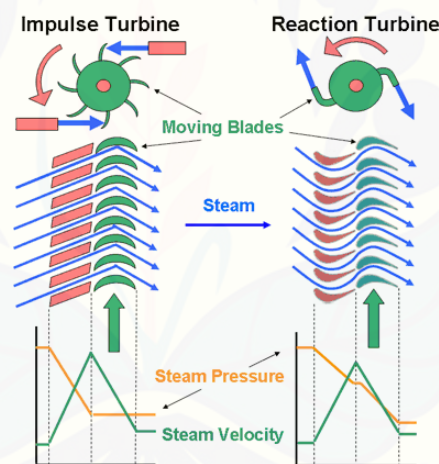
Turbin air dapat dibedakan berdasarkan cara turbin tersebut bekerja mengubah energi potensial menjadi energi kinetik adalah sebagai berikut :

1. Turbin Impuls

Pada turbin impuls, energy potensial air diubah menjadi energy kinetic sebelum air menyentuh sudut-sudut roda gerak. Saat sudah menyentuh roda gerak, energy kinetic tersebut mengalami perubahan momentum (impulse) yang mengakibatkan turbin berputar.

2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi merupakan turbin yang banyak digunakan karena cara kerjanya yang mengubah seluruh energy potensial menjadi energy kinetic. Prinsip kerja turbin reaksi memanfaatkan tekanan air untuk memutar *runner*.



Sumber : Pencarian Google

Gambar 2.18 Perbedaan Turbin Impuls dan Turbin Reaksi

Turbin yang dapat digunakan sebagai komponen pembangkit listrik dibedakan jenisnya berdasarkan tinggi jatuh air rencana (Haimerl, L.A., 1960). Jenis turbin dijelaskan sebagai berikut :

1. Turbin *Francis*, merupakan salah satu turbin reaksi yaitu turbin yang bisa mengubah energi air keseluruhan menjadi energi kinetik.
2. Turbin Pelton merupakan turbin impuls yaitu jenis turbin yang dapat mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik pada nozle. Air keluar nozle yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudut

turbin sehingga terjadi perubahan momentum (impulse). Akibatnya roda turbin akan berputar.

3. Turbin *Turgo* dapat beroperasi pada head 30 m s/d 300 m. Seperti turbin *Pelton*, turbin *Turgo* merupakan turbin *impulse*
4. Turbin *Cross-Flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama *A.G.M. Michell* pada tahun 1903.
5. Turbin *Kaplan* dan *Propeller* merupakan turbin reaksi aliran aksial sama seperti turbin *Francis*. Perbedaannya terletak pada kapasitas *head* yang telah direncanakan.

Tabel 2.6 Jenis Turbin

Jenis Turbin	Variasi Head
Kaplan	$2 < H < 20$
Propeller	$2 < H < 20$
Francis	$10 < H < 350$
Crossflow	$6 < H < 100$
Pelton	$50 < H < 1000$
Turgo	$50 < H < 250$

(Sumber : Dietzel, 1989)

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Analisis perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dilakukan pada Bendungan Jatimlerek di Desa Jatimlerek Kecamatan Plandaan Kabupaten Jombang. Lokasi ini dipilih berdasarkan studi literatur yang menyatakan bahwa pada bendungan tersebut berpotensi optimum dari segi finansial melalui energi listrik yang dapat dihasilkan.

Peta lokasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.1 Peta Kecamatan Plandaan

Sumber : Kantor Penanaman Modal dan Promosi Potensi Daerah



Gambar 3.2 Lokasi Bendung Jatimlerek

Sumber : Google Earth

3.2 Tahapan Perencanaan

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) membutuhkan tahap-tahap perencanaan sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Tahap pertama yang harus dilakukan pada penelitian ini adalah mempelajari literatur dan penelitian-penelitian terdahulu yang sejenis sebagai bekal utama untuk penelitian ini dapat dilaksanakan. Selain itu, mempelajari literatur bertujuan untuk mengurangi kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi selama penelitian berlangsung.

2. Pengumpulan Data

Data-data dalam penelitian ini seluruhnya merupakan data sekunder yaitu data yang tidak diperoleh melalui observasi langsung peneliti di lapangan melainkan melalui dokumen atau catatan yang dikumpulkan oleh lembaga atau instansi terkait (Sugiyono, 2005). Data tersebut meliputi data debit bendung, data fisik DAM Karet Jatimlerek, peta situasi, dan potongan memanjang serta melintang sungai.

3. Analisis Data

Tahap selanjutnya setelah data diperoleh yaitu melakukan analisis terhadap data-data tersebut. Data debit bendung, dan data fisik DAM nantinya akan menghasilkan keluaran berupa debit maksimum dan minimum untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Sedangkan peta situasi, dan potongan memanjang serta melintang sungai merupakan data penting untuk menunjang pembangunan perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

4. Perhitungan Komponen PLTMH

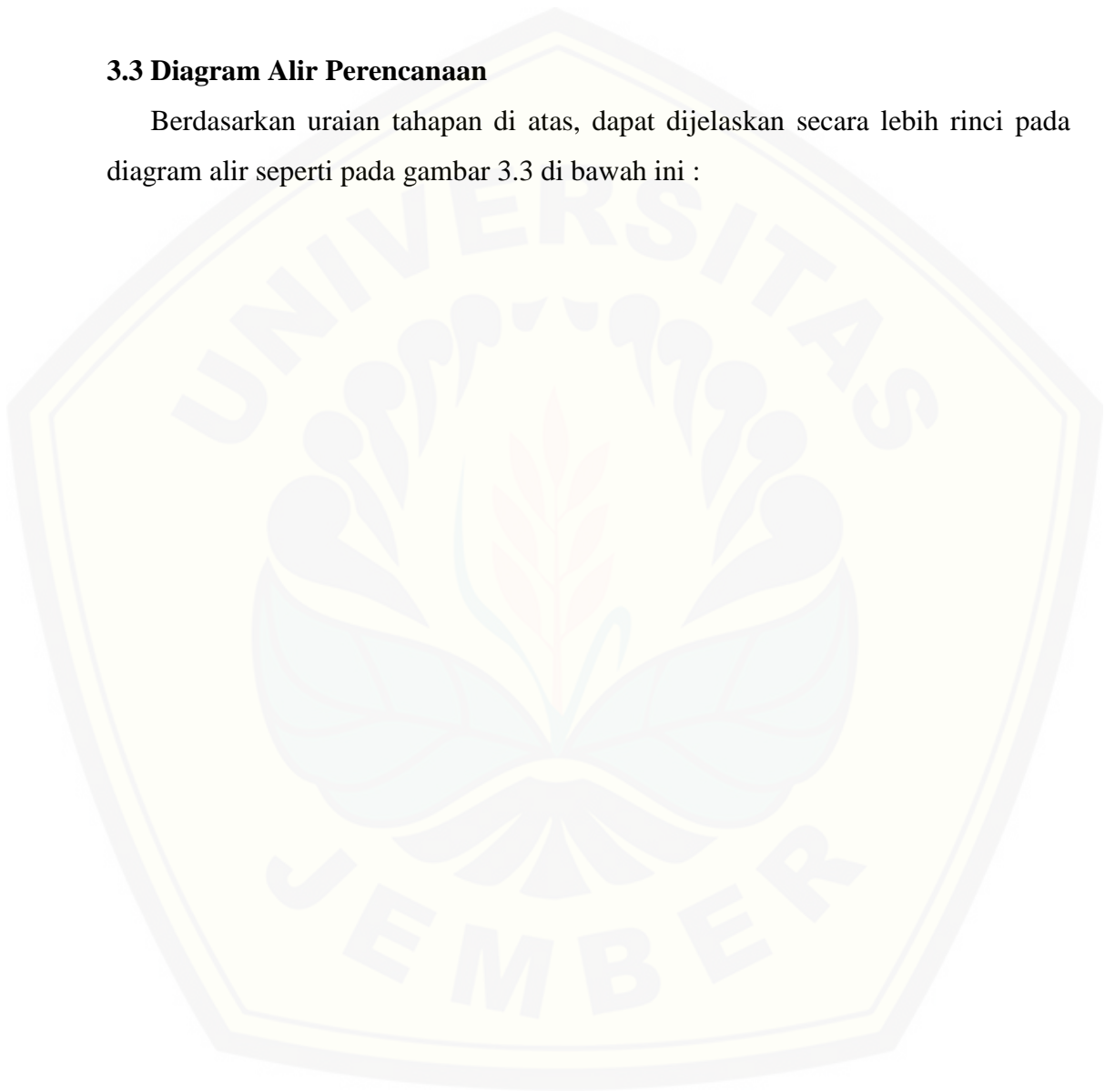
Komponen PLTMH yang direncanakan meliputi perhitungan dimensi bangunan intake, saluran pembawa, bak penenang, *power house*, dan pemilihan turbin, serta bangunan pelengkap seperti *trashrack*.

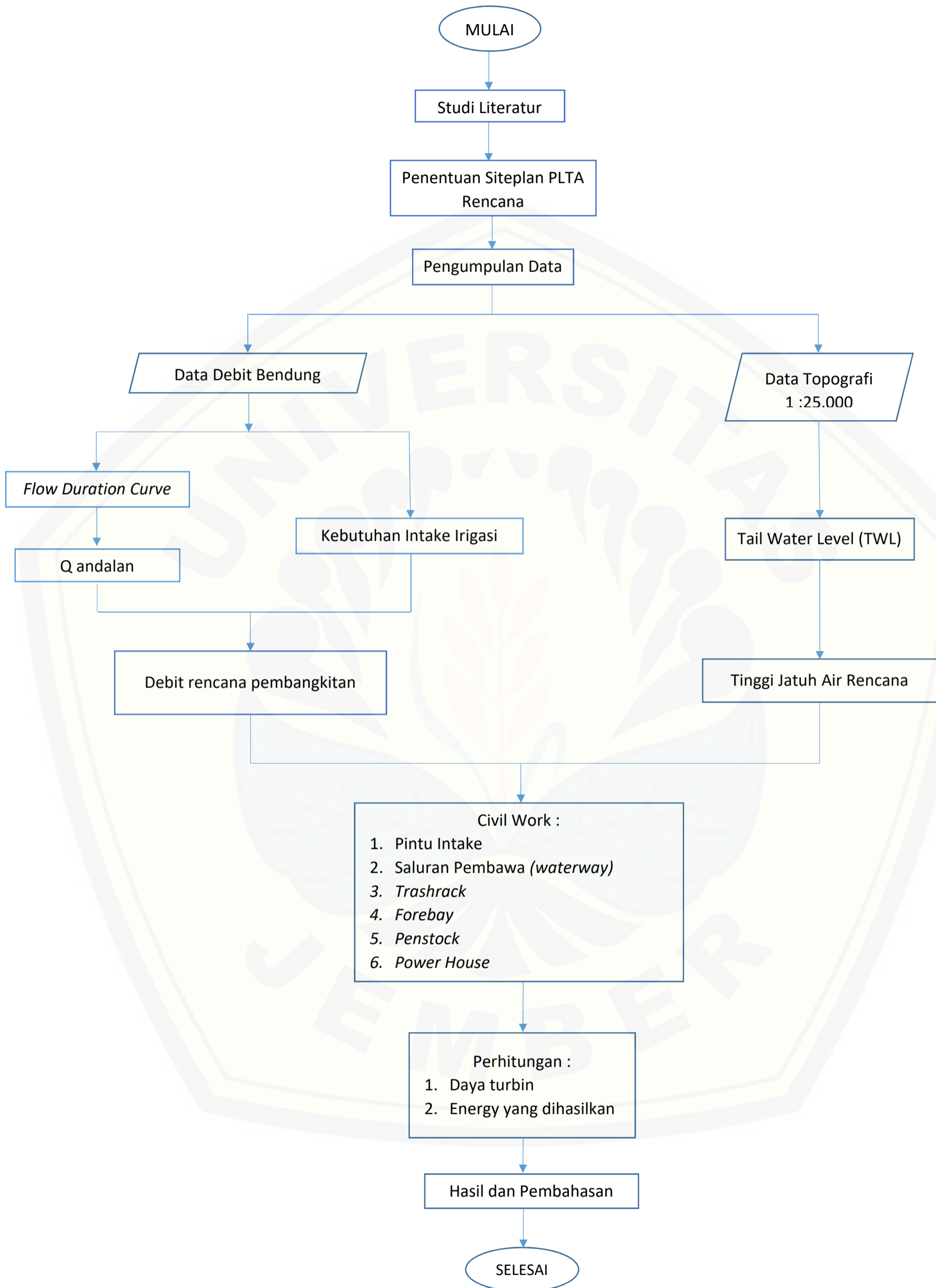
5. Pembahasan

Tahap terakhir pada penelitian adalah pembahasan dimana hasil perhitungan dan pemilihan komponen akan dibahas secara menyeluruh sehingga dapat diketahui hasil dari penelitian ini.

3.3 Diagram Alir Perencanaan

Berdasarkan uraian tahapan di atas, dapat dijelaskan secara lebih rinci pada diagram alir seperti pada gambar 3.3 di bawah ini :





Gambar 3.3 Diagram Alir Perencanaan PLTMH

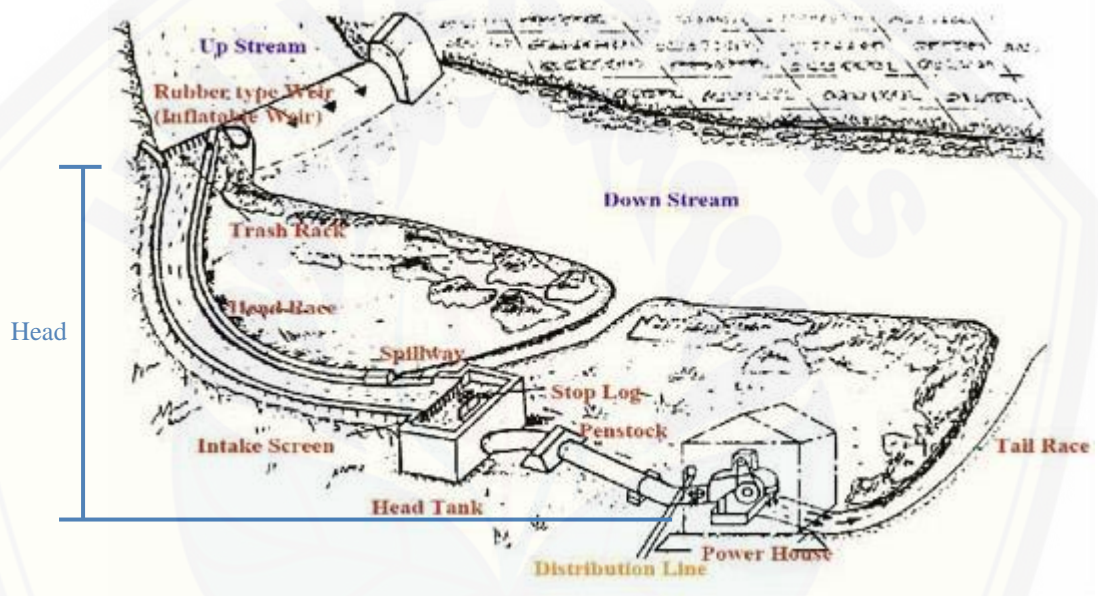


3.4 Perhitungan Komponen PLTMH

Output yang diperoleh dari analisis data sekunder seperti yang sudah disebutkan di atas antara lain :

1. Perhitungan Tinggi Jatuh Air (Head)

Tinggi jatuh air dihitung dari beda ketinggian antara sumber air dengan lokasi turbin. Secara lebih jelas dapat digambarkan melalui skema di bawah ini :



Gambar 3.4 Skema Perhitungan Tinggi Jatuh Air (*head*)

Tinggi jatuh air dihitung dengan melihat elevasi muka air di hulu bendung, elevasi muka air di hilir, dan besarnya kehilangan energi akibat konstruksi.

2. Perhitungan Debit

Data sekunder berupa debit bendung selama sepuluh tahun terakhir (2006-2016) dianalisis menggunakan *Flow Duration Curve* untuk memperoleh nilai debit keandalan 70%, 75%, 80%, dan 90%. Selain itu, data debit bendung juga dianalisis berdasarkan perhitungan *Capacity Factor* (CF). Melalui kedua

analisis tersebut dapat diketahui nilai debit minimum dan maksimum rencana yang dapat digunakan sebagai perhitungan perencanaan PLTMH.

3.5 Perhitungan Bangunan Sipil PLTMH

Pekerjaan sipil pada perencanaan PLTMH yang meliputi bangunan *intake*, saluran pembawa, *forebay*, pipa penstock, *power house*, dan pemilihan turbin. Ketentuan-ketentuan perencanaan PLTMH yang dibahas pada penelitian ini mengacu pada Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) tahun 2008 oleh Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

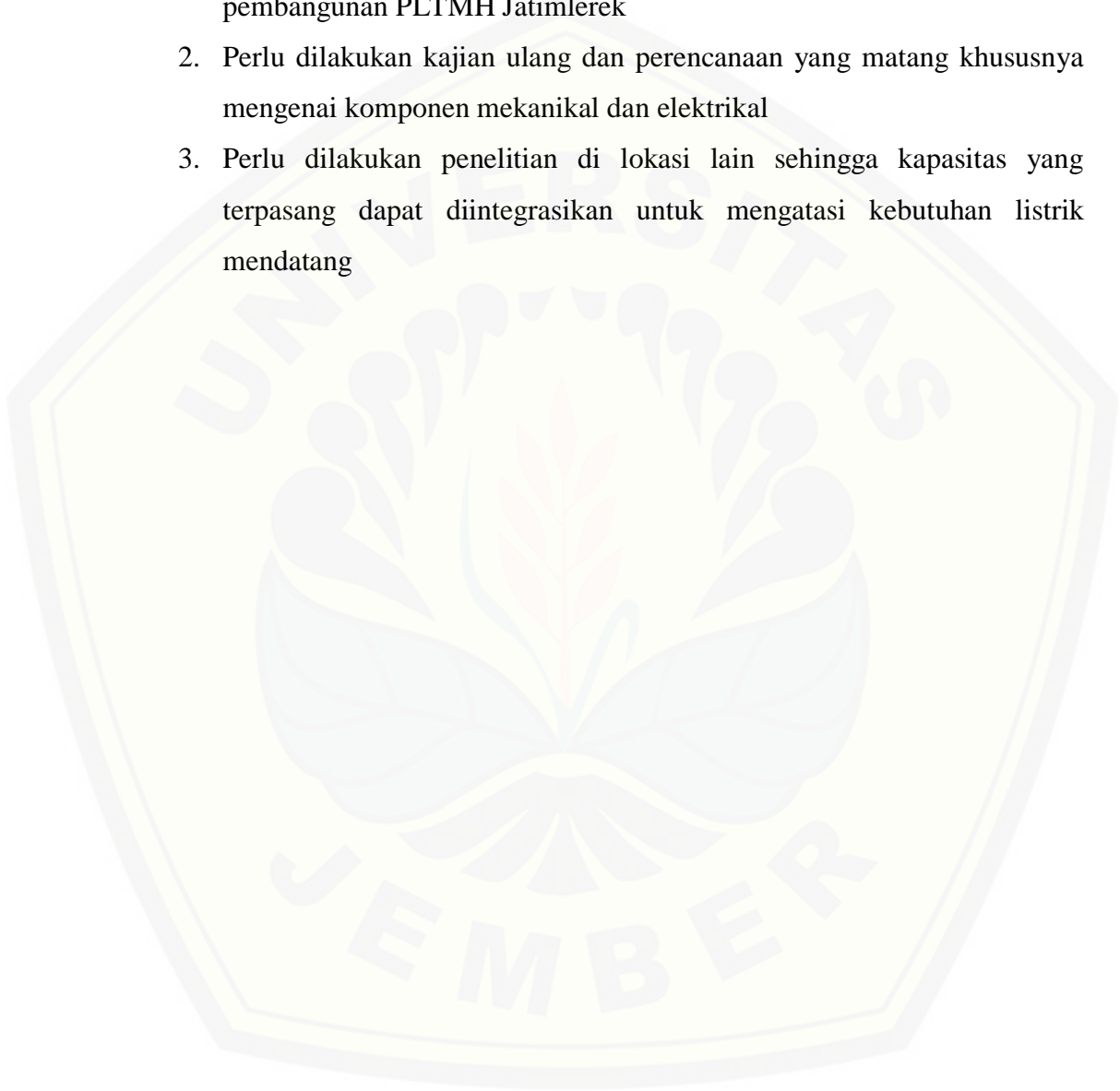
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Desain PLTMH pada bendung karet Jatimlerek direncanakan dengan bangunan utama meliputi bangunan pengambilan (*intake*), saluran pembawa (*waterway*), kolam penampung (*forebay*), pipa pesat, rumah pembangkit (*powerhouse*), dan *tailrace*.
 - Bangunan pengambilan terdiri dari pintu air sebanyak 3 buah dengan ukuran 5,50m x 2,00m dan 2 pilar dengan lebar masing-masing 1,50m.
 - Saluran penghantar direncanakan dengan konstruksi beton bertulang. Lebar saluran 19,50m dan panjang 162,25m dengan kemiringan dasar saluran $(I) = 0,0004$
 - Kolam penampung dengan dimensi panjang 20 x 19,5 x 4 meter berfungsi untuk menampung air sebelum masuk ke turbin.
 - Pipa pesat direncanakan dengan diameter pipa 72 inchi dan tebal pipa sebesar 5mm dengan kecepatan aliran sebesar 4,8 m/det
 - Rumah pembangkit yang didalamnya terdapat peralatan pembangkitan seperti turbin dan generator. Rumah pembangkit direncanakan dengan ukuran panjang 11 meter, lebar 23,00 meter, dan tinggi 10 meter.
 - Debit pembangkitan yang digunakan adalah sebesar 45,231 m³/detik dengan probabilitas 70%
 - Tinggi jatuh air sebesar 4,405 meter sehingga turbin yang digunakan adalah turbin Kaplan sebanyak 3 unit
2. Kapasitas terpasang pada PLTMH Jatimlerek adalah sebesar 1753,73 kilowatt dengan energi tahunan sebesar 15.362.664,87 kWh dan nilai capacity factor (CF) sebesar 66,48%

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilaksanakan, dapat diberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian mengenai perhitungan dari segi finansial pembangunan PLTMH Jatimlerek
2. Perlu dilakukan kajian ulang dan perencanaan yang matang khususnya mengenai komponen mekanikal dan elektrikal
3. Perlu dilakukan penelitian di lokasi lain sehingga kapasitas yang terpasang dapat diintegrasikan untuk mengatasi kebutuhan listrik mendatang



Lampiran 1. Perhitungan Kapasitas dan energy Terpasang dalam Berbagai Probabilitas

= 4.405 m
= 2.00 unit

Data : Head
Jumlah Unit

Probabilitas (%)	Debit (m3/det)	Debit (m3/det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)	Energi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator			Rill	Maks
1	824.5	4.869	819.621	0.925	0.970	4.405	31779.082	278,384,757.92	278,384,757.92
2	764.9	4.869	760.051	0.925	0.970	4.405	29469.38	258,151,766.68	278,384,757.92
3	733.3	4.869	728.411	0.925	0.970	4.405	28242.605	247,405,219.05	278,384,757.92
4	714.8	4.869	709.921	0.925	0.970	4.405	27525.694	241,125,077.90	278,384,757.92
5	684.4	4.869	679.531	0.925	0.970	4.405	26347.385	230,803,093.62	278,384,757.92
6	673.8	4.869	668.891	0.925	0.970	4.405	25934.841	227,189,210.35	278,384,757.92
7	658.9	4.869	654.030	0.925	0.970	4.405	25358.627	222,141,576.62	278,384,757.92
8	641.1	4.869	636.221	0.925	0.970	4.405	24668.13	216,092,822.50	278,384,757.92
9	628.7	4.869	623.821	0.925	0.970	4.405	24187.346	211,881,154.03	278,384,757.92
10	614.2	4.869	609.371	0.925	0.970	4.405	23627.078	206,973,201.64	278,384,757.92
11	601.0	4.869	596.171	0.925	0.970	4.405	23115.275	202,489,812.62	278,384,757.92
12	581.2	4.869	576.311	0.925	0.970	4.405	22345.245	195,744,350.04	278,384,757.92
13	568.4	4.869	563.551	0.925	0.970	4.405	21850.503	191,410,407.31	278,384,757.92
14	556.5	4.869	551.581	0.925	0.970	4.405	21386.391	187,344,788.63	278,384,757.92
15	548.9	4.869	544.051	0.925	0.970	4.405	21094.431	184,787,218.98	278,384,757.92
16	538.7	4.869	533.851	0.925	0.970	4.405	20698.948	181,322,782.00	278,384,757.92
17	520.2	4.869	515.309	0.925	0.970	4.405	19980.033	175,025,092.23	278,384,757.92
18	507.5	4.869	502.591	0.925	0.970	4.405	19486.907	170,705,301.63	278,384,757.92
19	494.4	4.869	489.551	0.925	0.970	4.405	18981.308	166,276,256.71	278,384,757.92
20	487.1	4.869	482.267	0.925	0.970	4.405	18698.896	163,802,326.04	278,384,757.92
21	475.2	4.869	470.300	0.925	0.970	4.405	18234.897	159,737,698.01	278,384,757.92

Data : Head
Jumlah Unit

= 4.405 m
= 2.00 unit

Probabilitas (%)	Debit (m3/det)	Debit (m3/det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)	Energi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator			Rill	Maks
22	463.7	4.869	458.808	0.925	0.970	4.405	17789.316	155,834,404.03	278,384,757.92
23	447.2	4.869	442.285	0.925	0.970	4.405	17148.674	150,222,384.11	278,384,757.92
24	432.2	4.869	427.361	0.925	0.970	4.405	16570.021	145,153,380.68	278,384,757.92
25	415.6	4.869	410.771	0.925	0.970	4.405	15926.778	139,518,575.84	278,384,757.92
26	402.3	4.869	397.388	0.925	0.970	4.405	15407.883	134,973,059.03	278,384,757.92
27	390.0	4.869	385.089	0.925	0.970	4.405	14931.009	130,795,638.68	278,384,757.92
28	374.5	4.869	369.591	0.925	0.970	4.405	14330.11	125,531,760.68	278,384,757.92
29	363.4	4.869	358.549	0.925	0.970	4.405	13901.976	121,781,309.53	278,384,757.92
30	354.7	4.869	349.831	0.925	0.970	4.405	13563.957	118,820,263.16	278,384,757.92
31	349.0	4.869	344.101	0.925	0.970	4.405	13341.788	116,874,064.75	278,384,757.92
32	343.1	4.869	338.219	0.925	0.970	4.405	13113.739	114,876,352.63	278,384,757.92
33	336.1	4.869	331.251	0.925	0.970	4.405	12843.556	112,509,553.46	278,384,757.92
34	332.2	4.869	327.361	0.925	0.970	4.405	12692.73	111,188,312.30	278,384,757.92
35	323.7	4.869	318.851	0.925	0.970	4.405	12362.772	108,297,884.98	278,384,757.92
36	316.0	4.869	311.121	0.925	0.970	4.405	12063.058	105,672,385.19	278,384,757.92
37	311.6	4.869	306.742	0.925	0.970	4.405	11893.297	104,185,281.29	278,384,757.92
38	301.7	4.869	296.791	0.925	0.970	4.405	11507.442	100,805,190.89	278,384,757.92
39	297.0	4.869	292.081	0.925	0.970	4.405	11324.821	99,205,436.17	278,384,757.92
40	285.5	4.869	280.647	0.925	0.970	4.405	10881.518	95,322,096.70	278,384,757.92
41	278.2	4.869	273.321	0.925	0.970	4.405	10597.442	92,833,589.34	278,384,757.92
42	269.8	4.869	264.971	0.925	0.970	4.405	10273.688	89,997,506.13	278,384,757.92

=

	4.405		m
	2.00		unit

Data : Head
Jumlah Unit

Probabilitas (%)	Debit (m3/det)	Debit (m3/det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)	Energi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator			Rill	Maks
43	258.6	4.869	253.771	0.925	0.970	4.405	9839.4313	86,193,418.48	278,384,757.92
44	249.5	4.869	244.641	0.925	0.970	4.405	9485.4347	83,092,407.73	278,384,757.92
45	242.4	4.869	237.491	0.925	0.970	4.405	9208.2084	80,663,905.34	278,384,757.92
46	234.6	4.869	229.731	0.925	0.970	4.405	8907.3306	78,028,216.04	278,384,757.92
47	224.1	4.869	219.191	0.925	0.970	4.405	8498.6641	74,448,297.83	278,384,757.92
48	216.0	4.869	211.111	0.925	0.970	4.405	8185.379	71,703,920.30	278,384,757.92
49	202.5	4.869	197.654	0.925	0.970	4.405	7663.6249	67,133,354.26	278,384,757.92
50	192.8	4.869	187.891	0.925	0.970	4.405	7285.0721	63,817,231.43	278,384,757.92
51	182.6	4.869	177.701	0.925	0.970	4.405	6889.9761	60,356,190.96	278,384,757.92
52	172.2	4.869	167.355	0.925	0.970	4.405	6488.8381	56,842,221.60	278,384,757.92
53	167.4	4.869	162.481	0.925	0.970	4.405	6299.8525	55,186,707.55	278,384,757.92
54	161.9	4.869	157.012	0.925	0.970	4.405	6087.8131	53,329,242.87	278,384,757.92
55	156.8	4.869	151.911	0.925	0.970	4.405	5990.0228	51,596,599.82	278,384,757.92
56	152.7	4.869	147.842	0.925	0.970	4.405	5732.2655	50,214,646.10	278,384,757.92
57	147.5	4.869	142.671	0.925	0.970	4.405	5531.7611	48,458,227.50	278,384,757.92
58	140.6	4.869	135.701	0.925	0.970	4.405	5261.514	46,090,862.24	278,384,757.92
59	134.0	4.869	129.151	0.925	0.970	4.405	5007.5514	43,866,150.26	278,384,757.92
60	129.5	4.869	124.591	0.925	0.970	4.405	4830.7469	42,317,343.14	278,384,757.92
61	122.7	4.869	117.861	0.925	0.970	4.405	4569.8053	40,031,494.04	278,384,757.92
62	114.1	4.869	109.261	0.925	0.970	4.405	4236.3582	37,110,498.16	278,384,757.92
63	99.4	4.869	94.482	0.925	0.970	4.405	3663.3431	32,090,885.61	278,384,757.92

Data : Head Jumlah Unit

=	4.405	m
=	2.00	unit

Data : Head Jumlah Unit

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)	Energi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator			Rill	Maks
64	95.7	4.869	90.851	0.925	0.970	4.405	3522.549	30,857,529.07	278,384,757.92
65	90.7	4.869	85.845	0.925	0.970	4.405	3328.4583	29,157,294.35	278,384,757.92
66	83.2	4.869	78.376	0.925	0.970	4.405	3038.8569	26,620,386.79	278,384,757.92
67	75.5	4.869	70.631	0.925	0.970	4.405	2738.5608	23,989,792.24	278,384,757.92
68	71.6	4.869	66.761	0.925	0.970	4.405	2588.5096	22,675,344.09	278,384,757.92
69	68.8	4.869	63.971	0.925	0.970	4.405	2480.3332	21,727,718.69	278,384,757.92
70	50.1	4.869	45.231	0.925	0.970	4.405	1,753.73	15,362,664.87	278,384,757.92
71	42.2	4.869	37.321	0.925	0.970	4.405	1,447.04	12,676,027.96	278,384,757.92
72	37.3	4.869	32.415	0.925	0.970	4.405	1,256.84	11,009,899.84	278,384,757.92
73	36.5	4.869	31.581	0.925	0.970	4.405	1,224.48	10,726,433.04	278,384,757.92
74	36.1	4.869	31.206	0.925	0.970	4.405	1,209.94	10,599,064.03	278,384,757.92
75	35.9	4.869	31.027	0.925	0.970	4.405	1,202.99	10,538,209.95	278,384,757.92
76	35.7	4.869	30.819	0.925	0.970	4.405	1,194.95	10,467,732.43	278,384,757.92
77	35.5	4.869	30.601	0.925	0.970	4.405	1,186.48	10,393,575.37	278,384,757.92
78	35.3	4.869	30.471	0.925	0.970	4.405	1,181.44	10,349,420.78	278,384,757.92
79	35.2	4.869	30.329	0.925	0.970	4.405	1,175.95	10,301,303.60	278,384,757.92
80	35.0	4.869	30.151	0.925	0.970	4.405	1,169.03	10,240,732.56	278,384,757.92
81	34.9	4.869	29.982	0.925	0.970	4.405	1,162.47	10,183,274.98	278,384,757.92
82	34.7	4.869	29.851	0.925	0.970	4.405	1,157.40	10,138,837.35	278,384,757.92
83	34.5	4.869	29.591	0.925	0.970	4.405	1,147.32	10,050,528.18	278,384,757.92
84	34.2	4.869	29.343	0.925	0.970	4.405	1,137.72	9,966,464.63	278,384,757.92

Head = 4.405 m
 Jumlah Unit = 2.00 unit

Data :
 Head
 Jumlah Unit

Probabilitas (%)	Debit (m3/det)	Debit (m3/det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)	Energi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator			Rill	Maks
85	34.0	4.869	29.135	0.925	0.970	4.405	1,129.65	9,895,704.07	278,384,757.92
86	33.7	4.869	28.871	0.925	0.970	4.405	1,119.40	9,805,979.68	278,384,757.92
87	33.5	4.869	28.611	0.925	0.970	4.405	1,109.32	9,717,670.51	278,384,757.92
88	33.2	4.869	28.371	0.925	0.970	4.405	1,100.02	9,636,154.34	278,384,757.92
89	33.0	4.869	28.091	0.925	0.970	4.405	1,089.16	9,541,052.15	278,384,757.92
90	32.8	4.869	27.911	0.925	0.970	4.405	1,082.18	9,479,915.03	278,384,757.92
91	32.6	4.869	27.771	0.925	0.970	4.405	1,076.75	9,432,363.93	278,384,757.92
92	32.5	4.869	27.671	0.925	0.970	4.405	1,072.88	9,398,398.86	278,384,757.92
93	32.4	4.869	27.557	0.925	0.970	4.405	1,068.48	9,359,905.12	278,384,757.92
94	32.3	4.869	27.461	0.925	0.970	4.405	1,064.73	9,327,072.22	278,384,757.92
95	32.2	4.869	27.291	0.925	0.970	4.405	1,058.14	9,269,331.60	278,384,757.92
96	31.9	4.869	27.031	0.925	0.970	4.405	1,048.06	9,181,022.43	278,384,757.92
97	31.1	4.869	26.241	0.925	0.970	4.405	1,017.43	8,912,698.39	278,384,757.92
Total								285,961,437.89	7,794,773,221.72

Lampiran 2. Perhitungan CF pada Probabilitas 50%

Data :

=	Head	4.405	m
=	Debit Total	187.89	m ³ /det
=	Debit Rencana / unit	62.63	m ³ /det
=	Probabilitas Debit Rencana	50.00	%
=	Debit Minimum / unit	25.05	m ³ /det (40% Debit Rencana)
=	Jumlah Unit	3.00	unit
=	Kapasitas Terpasang	1,300.00	kW
=	Annual Enersi	1,122,297,804.39	kWh
=	Annual Enersi Maks	3,063,227,108.42	kWh
=	Capacity Factor	36.64	%

1,122.30
3,063.23

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Energi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Riil	Maks	Riil	Maks
50	192.8	4.869	187.891	0.925	0.970	4.405	7285.0721	7285.0721	63,817,231.43	63,817,231.43
51	182.6	4.869	177.701	0.925	0.970	4.405	6889.9761	6889.9761	60,356,190.96	63,817,231.43
52	172.2	4.869	167.355	0.925	0.970	4.405	6488.8381	6488.8381	56,842,221.60	63,817,231.43
53	167.4	4.869	162.481	0.925	0.970	4.405	6299.8525	6299.8525	55,186,707.55	63,817,231.43
54	161.9	4.869	157.012	0.925	0.970	4.405	6087.8131	6087.8131	53,329,242.87	63,817,231.43
55	156.8	4.869	151.911	0.925	0.970	4.405	5890.0228	5890.0228	51,596,599.82	63,817,231.43
56	152.7	4.869	147.842	0.925	0.970	4.405	5732.2655	5732.2655	50,214,646.10	63,817,231.43
57	147.5	4.869	142.671	0.925	0.970	4.405	5531.7611	5531.7611	48,458,227.50	63,817,231.43
58	140.6	4.869	135.701	0.925	0.970	4.405	5261.514	5261.514	46,090,862.24	63,817,231.43
59	134.0	4.869	129.151	0.925	0.970	4.405	5007.5514	5007.5514	43,866,150.26	63,817,231.43
60	129.5	4.869	124.591	0.925	0.970	4.405	4830.7469	4830.7469	42,317,343.14	63,817,231.43
61	122.7	4.869	117.861	0.925	0.970	4.405	4569.8053	4569.8053	40,031,494.04	63,817,231.43
62	114.1	4.869	109.261	0.925	0.970	4.405	4236.3582	4236.3582	37,110,498.16	63,817,231.43
63	99.4	4.869	94.482	0.925	0.970	4.405	3663.3431	3663.3431	32,090,885.61	63,817,231.43
64	95.7	4.869	90.851	0.925	0.970	4.405	3522.549	3522.549	30,857,529.07	63,817,231.43
65	90.7	4.869	85.845	0.925	0.970	4.405	3328.4583	3328.4583	29,157,294.35	63,817,231.43
66	83.2	4.869	78.376	0.925	0.970	4.405	3038.8569	3038.8569	26,620,386.79	63,817,231.43
67	75.5	4.869	70.631	0.925	0.970	4.405	2738.5608	2738.5608	23,989,792.24	63,817,231.43
68	71.6	4.869	66.761	0.925	0.970	4.405	2588.5096	2588.5096	22,675,344.09	63,817,231.43
69	68.8	4.869	63.971	0.925	0.970	4.405	2480.3332	2480.3332	21,727,718.69	63,817,231.43

Data :

Head	=	4.405	m
Debit Total	=	187.89	m ³ /det
Debit Rencana / unit	=	62.63	m ³ /det
Probabilitas Debit Rencana	=	50.00	%
Debit Minimum / unit	=	25.05	m ³ /det (40% Debit Rencana)
Jumlah Unit	=	3.00	unit
Kapasitas Terpasang	=	1.300.00	kW
Annual Enersi	=	1.122.297.108.42	kWh
Annual Enersi Maks	=	3.063.227	kWh
Capacity Factor	=	36.64	%

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)			Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Enersi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator	Rill		Maks	Rill	Maks	
70	50.1	4.869	45.231	0.925	0.970	4.405	1753.7289	15.362.664.87	63.817.231.43		
71	42.2	4.869	37.321	0.925	0.970	4.405	1447.0352	12.676.027.96	63.817.231.43		
72	37.3	4.869	32.415	0.925	0.970	4.405	1256.8379	11.009.899.84	63.817.231.43		
73	36.5	4.869	31.581	0.925	0.970	4.405	1224.4787	10.726.433.04	63.817.231.43		
74	36.1	4.869	31.206	0.925	0.970	4.405	1209.9388	10.599.064.03	63.817.231.43		
75	35.9	4.869	31.027	0.925	0.970	4.405	1202.982	10.538.209.95	63.817.231.43		
76	35.7	4.869	30.819	0.925	0.970	4.405	1194.9466	10.467.732.43	63.817.231.43		
77	35.5	4.869	30.601	0.925	0.970	4.405	1186.4812	10.393.575.37	63.817.231.43		
78	35.3	4.869	30.471	0.925	0.970	4.405	1181.4407	10.349.420.78	63.817.231.43		
79	35.2	4.869	30.329	0.925	0.970	4.405	1175.9479	10.301.303.60	63.817.231.43		
80	35.0	4.869	30.151	0.925	0.970	4.405	1169.0334	10.240.732.56	63.817.231.43		
81	34.9	4.869	29.982	0.925	0.970	4.405	1162.4743	10.183.274.98	63.817.231.43		
82	34.7	4.869	29.851	0.925	0.970	4.405	1157.4015	10.138.837.35	63.817.231.43		
83	34.5	4.869	29.591	0.925	0.970	4.405	1147.3206	10.050.528.18	63.817.231.43		
84	34.2	4.869	29.343	0.925	0.970	4.405	1137.7243	9.968.464.63	63.817.231.43		
85	34.0	4.869	29.135	0.925	0.970	4.405	1129.6466	9.895.704.07	63.817.231.43		
86	33.7	4.869	28.871	0.925	0.970	4.405	1109.3231	9.805.979.68	63.817.231.43		
87	33.5	4.869	28.611	0.925	0.970	4.405	1109.3231	9.717.670.51	63.817.231.43		
88	33.2	4.869	28.371	0.925	0.970	4.405	1100.0176	9.636.154.34	63.817.231.43		
89	33.0	4.869	28.091	0.925	0.970	4.405	1089.1612	9.541.052.15	63.817.231.43		
90	32.8	4.869	27.911	0.925	0.970	4.405	1082.1821	9.479.915.03	63.817.231.43		
91	32.6	4.869	27.771	0.925	0.970	4.405	1076.7539	9.432.363.93	63.817.231.43		
92	32.5	4.869	27.671	0.925	0.970	4.405	1072.8766	9.398.398.86	63.817.231.43		
93	32.4	4.869	27.557	0.925	0.970	4.405	1068.4823	9.359.905.12	63.817.231.43		
94	32.3	4.869	27.461	0.925	0.970	4.405	1064.7343	9.327.072.22	63.817.231.43		
95	32.2	4.869	27.291	0.925	0.970	4.405	1058.1429	9.269.331.60	63.817.231.43		
96	31.9	4.869	27.031	0.925	0.970	4.405	1048.0619	9.181.022.43	63.817.231.43		
97	31.1	4.869	26.241	0.925	0.970	4.405	1017.4313	8.912.698.39	63.817.231.43		
Total								1,122,297,804.39	3,063,227,108.42		

Lampiran 3. Perhitungan CF pada Probabilitas 55%

Data :

Head	4.405	m
Debit Total	151.91	m ³ /det
Debit Rencana / unit	50.64	m ³ /det
Probabilitas Debit Rencana	55.00	%
Debit Minimum / unit	20.25	m ³ /det (40% Debit Rencana)
Jumlah Unit	3.00	unit
Kapasitas Terpasang	5,890.02	kW
Annual Energi	832,766,209.98	kWh
Annual Energi Maks	2,218,653,792.32	kWh
Capacity Factor	37.53	%

	832.77
	2,218.65

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Energi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Riil	Maks	Riil	Maks
55	156.8	4.869	151.911	0.925	0.970	4.405	5890.0228	5890.0228	51,596,599.82	51,596,599.82
56	152.7	4.869	147.842	0.925	0.970	4.405	5732.2655	5732.2655	50,214,646.10	51,596,599.82
57	147.5	4.869	142.671	0.925	0.970	4.405	5531.7611	5531.7611	48,458,227.50	51,596,599.82
58	140.6	4.869	135.701	0.925	0.970	4.405	5261.514	5261.514	46,090,862.24	51,596,599.82
59	134.0	4.869	129.151	0.925	0.970	4.405	5007.5514	5007.5514	43,866,150.26	51,596,599.82
60	129.5	4.869	124.591	0.925	0.970	4.405	4830.7469	4830.7469	42,317,343.14	51,596,599.82
61	122.7	4.869	117.861	0.925	0.970	4.405	4569.8053	4569.8053	40,031,494.04	51,596,599.82
62	114.1	4.869	109.261	0.925	0.970	4.405	4236.3582	4236.3582	37,110,498.16	51,596,599.82
63	99.4	4.869	94.482	0.925	0.970	4.405	3663.3431	3663.3431	32,090,885.61	51,596,599.82
64	95.7	4.869	90.851	0.925	0.970	4.405	3522.549	3522.549	30,857,529.07	51,596,599.82
65	90.7	4.869	85.845	0.925	0.970	4.405	3328.4583	3328.4583	29,157,294.35	51,596,599.82
66	83.2	4.869	78.376	0.925	0.970	4.405	3038.8569	3038.8569	26,620,386.79	51,596,599.82
67	75.5	4.869	70.631	0.925	0.970	4.405	2738.5608	2738.5608	23,989,792.24	51,596,599.82
68	71.6	4.869	66.761	0.925	0.970	4.405	2588.5096	2588.5096	22,675,344.09	51,596,599.82
69	68.8	4.869	63.971	0.925	0.970	4.405	2480.3332	2480.3332	21,727,718.69	51,596,599.82
70	50.1	4.869	45.231	0.925	0.970	4.405	1753.7289	1753.7289	15,362,664.87	51,596,599.82
71	42.2	4.869	37.321	0.925	0.970	4.405	1447.0352	1447.0352	12,676,027.96	51,596,599.82
72	37.3	4.869	32.415	0.925	0.970	4.405	1256.8379	1256.8379	11,009,899.84	51,596,599.82
73	36.5	4.869	31.581	0.925	0.970	4.405	1224.4787	1224.4787	10,726,433.04	51,596,599.82
74	36.1	4.869	31.206	0.925	0.970	4.405	1209.9388	1209.9388	10,599,064.03	51,596,599.82

Data :

Head	=	4.405	m
Debit Total	=	151.91	m ³ /det
Debit Rencana / unit	=	50.64	m ³ /det
Probabilitas Debit Rencana	=	55.00	%
Debit Minimum / unit	=	20.25	m ³ /det (40% Debit Rencana)
Jumlah Unit	=	3.00	unit
Kapasitas Terpasang	=	5.890.02	kW
Annual Enersi	=	832,766,209.98	kWh
Annual Enersi Maks	=	2,218,653,792.32	kWh
Capacity Factor	=	37.53	%

832.77
2,218.65

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Enersi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Riil	Maks	Riil	Maks
75	35.9	4.869	31.027	0.925	0.970	4.405	1202.992	10,538,209.95	51,596,599.82	
76	35.7	4.869	30.819	0.925	0.970	4.405	1194.9466	10,467,732.43	51,596,599.82	
77	35.5	4.869	30.601	0.925	0.970	4.405	1186.4812	10,393,575.37	51,596,599.82	
78	35.3	4.869	30.471	0.925	0.970	4.405	1181.4407	10,349,420.78	51,596,599.82	
79	35.2	4.869	30.329	0.925	0.970	4.405	1175.9479	10,301,303.60	51,596,599.82	
80	35.0	4.869	30.151	0.925	0.970	4.405	1169.0334	10,240,732.56	51,596,599.82	
81	34.9	4.869	29.982	0.925	0.970	4.405	1162.4743	10,183,274.98	51,596,599.82	
82	34.7	4.869	29.851	0.925	0.970	4.405	1157.4015	10,138,837.35	51,596,599.82	
83	34.5	4.869	29.591	0.925	0.970	4.405	1147.3206	10,050,528.18	51,596,599.82	
84	34.2	4.869	29.343	0.925	0.970	4.405	1137.7243	9,966,464.63	51,596,599.82	
85	34.0	4.869	29.135	0.925	0.970	4.405	1129.6466	9,895,704.07	51,596,599.82	
86	33.7	4.869	28.871	0.925	0.970	4.405	1119.4041	9,805,979.68	51,596,599.82	
87	33.5	4.869	28.611	0.925	0.970	4.405	1109.3231	9,717,670.51	51,596,599.82	
88	33.2	4.869	28.371	0.925	0.970	4.405	1100.0176	9,636,154.34	51,596,599.82	
89	33.0	4.869	28.091	0.925	0.970	4.405	1089.1612	9,541,052.15	51,596,599.82	
90	32.8	4.869	27.911	0.925	0.970	4.405	1082.1821	9,479,915.03	51,596,599.82	
91	32.6	4.869	27.771	0.925	0.970	4.405	1076.7639	9,432,363.93	51,596,599.82	
92	32.5	4.869	27.671	0.925	0.970	4.405	1072.8766	9,398,398.86	51,596,599.82	
93	32.4	4.869	27.557	0.925	0.970	4.405	1068.4823	9,359,905.12	51,596,599.82	
94	32.3	4.869	27.461	0.925	0.970	4.405	1064.7343	9,327,072.22	51,596,599.82	
95	32.2	4.869	27.291	0.925	0.970	4.405	1058.1429	9,269,331.60	51,596,599.82	
96	31.9	4.869	27.031	0.925	0.970	4.405	1048.0619	9,181,022.43	51,596,599.82	
97	31.1	4.869	26.241	0.925	0.970	4.405	1017.4313	8,912,698.39	51,596,599.82	
Total									832,766,209.98	2,218,653,792.32

Lampiran 4. Perhitungan CF pada Probabilitas 60%

Data:

Head	=	4.405	m
Debit Total	=	124.59	m ³ /det
Debit Rencana / unit	=	41.53	m ³ /det
Probabilitas Debit Rencana	=	60.00	%
Debit Minimum / unit	=	16.61	m ³ /det (40% Debit Rencana)
Jumlah Unit	=	3.00	unit
Kapasitas Terpasang	=	4.830.75	kW
Annual Enersi	=	592.539,724.06	kWh
Annual Enersi Maks	=	1,608,059,039.30	kWh
Capacity Factor	=	36.85	%

592.54
1,608.06

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Energi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Riil	Maks	Riil	Maks
60	129.5	4.869	124.591	0.925	0.970	4.405	4830.7469	4830.7469	42,317,343.14	42,317,343.14
61	122.7	4.869	117.861	0.925	0.970	4.405	4569.8053	4569.8053	40,031,494.04	42,317,343.14
62	114.1	4.869	109.261	0.925	0.970	4.405	4236.3582	4236.3582	37,110,498.16	42,317,343.14
63	99.4	4.869	94.482	0.925	0.970	4.405	3663.3431	3663.3431	32,090,885.61	42,317,343.14
64	95.7	4.869	90.851	0.925	0.970	4.405	3522.549	3522.549	30,857,529.07	42,317,343.14
65	90.7	4.869	85.845	0.925	0.970	4.405	3328.4583	3328.4583	29,157,294.35	42,317,343.14
66	83.2	4.869	78.376	0.925	0.970	4.405	3038.8569	3038.8569	26,620,386.79	42,317,343.14
67	75.5	4.869	70.631	0.925	0.970	4.405	2738.5608	2738.5608	23,989,792.24	42,317,343.14
68	71.6	4.869	66.761	0.925	0.970	4.405	2588.5096	2588.5096	22,675,344.09	42,317,343.14
69	68.8	4.869	63.971	0.925	0.970	4.405	2480.3332	2480.3332	21,727,718.69	42,317,343.14
70	50.1	4.869	45.231	0.925	0.970	4.405	1,753.73	1,753.73	15,362,664.87	42,317,343.14
71	42.2	4.869	37.321	0.925	0.970	4.405	1,447.04	1,447.04	12,676,027.96	42,317,343.14
72	37.3	4.869	32.415	0.925	0.970	4.405	1,256.84	1,256.84	11,009,899.84	42,317,343.14
73	36.5	4.869	31.581	0.925	0.970	4.405	1,224.48	1,224.48	10,726,433.04	42,317,343.14
74	36.1	4.869	31.206	0.925	0.970	4.405	1,209.94	1,209.94	10,599,064.03	42,317,343.14
75	35.9	4.869	31.027	0.925	0.970	4.405	1,202.99	1,202.99	10,538,209.95	42,317,343.14
76	35.7	4.869	30.819	0.925	0.970	4.405	1,194.95	1,194.95	10,467,732.43	42,317,343.14
77	35.5	4.869	30.601	0.925	0.970	4.405	1,186.48	1,186.48	10,393,575.37	42,317,343.14
78	35.3	4.869	30.471	0.925	0.970	4.405	1,181.44	1,181.44	10,349,420.78	42,317,343.14
79	35.2	4.869	30.329	0.925	0.970	4.405	1,175.95	1,175.95	10,301,303.60	42,317,343.14
80	35.0	4.869	30.151	0.925	0.970	4.405	1,169.03	1,169.03	10,240,732.56	42,317,343.14

Data :

Head	=	4.405	m
Debit Total	=	124.59	m3/det
Debit Rencana / unit	=	41.53	m3/det
Probabilitas Debit Rencana	=	60.00	%
Debit Minimum / unit	=	16.61	m3/det (40% Debit Rencana)
Jumlah Unit	=	3.00	unit
Kapasitas Terpasang	=	4.830.75	kW
Annual Enersi	=	592,539,724.06	kWh
Annual Enersi Maks	=	1,608,059,039.30	kWh
Capacity Factor	=	36.85	%

592.54
1,608.06

Probabilitas (%)	Debit (m3/det)	Debit (m3/det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Enersi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Riil	Maks	Riil	Maks
81	34.9	4.869	29.982	0.925	0.970	4.405	1,162.47	10,183,274.98	42,317,343.14	
82	34.7	4.869	29.851	0.925	0.970	4.405	1,157.40	10,138,837.35	42,317,343.14	
83	34.5	4.869	29.591	0.925	0.970	4.405	1,147.32	10,050,528.18	42,317,343.14	
84	34.2	4.869	29.343	0.925	0.970	4.405	1,137.72	9,966,464.63	42,317,343.14	
85	34.0	4.869	29.135	0.925	0.970	4.405	1,129.65	9,895,704.07	42,317,343.14	
86	33.7	4.869	28.871	0.925	0.970	4.405	1,119.40	9,805,979.68	42,317,343.14	
87	33.5	4.869	28.611	0.925	0.970	4.405	1,109.32	9,717,670.51	42,317,343.14	
88	33.2	4.869	28.371	0.925	0.970	4.405	1,100.02	9,636,154.34	42,317,343.14	
89	33.0	4.869	28.091	0.925	0.970	4.405	1,089.16	9,541,052.15	42,317,343.14	
90	32.8	4.869	27.911	0.925	0.970	4.405	1,082.18	9,479,915.03	42,317,343.14	
91	32.6	4.869	27.771	0.925	0.970	4.405	1,076.75	9,432,363.93	42,317,343.14	
92	32.5	4.869	27.671	0.925	0.970	4.405	1,072.88	9,398,398.86	42,317,343.14	
93	32.4	4.869	27.557	0.925	0.970	4.405	1,068.48	9,359,905.12	42,317,343.14	
94	32.3	4.869	27.461	0.925	0.970	4.405	1,064.73	9,327,072.22	42,317,343.14	
95	32.2	4.869	27.291	0.925	0.970	4.405	1,058.14	9,269,331.60	42,317,343.14	
96	31.9	4.869	27.031	0.925	0.970	4.405	1,048.06	9,181,022.43	42,317,343.14	
97	31.1	4.869	26.241	0.925	0.970	4.405	1,017.43	8,912,698.39	42,317,343.14	
Total									592,539,724.06	1,608,059,039.30

Lampiran 5. Perhitungan CF pada Probabilitas 65%

Data :

Head	=	4.405	m
Debit Total	=	85.84	m ³ /det
Debit Rencana / unit	=	28.61	m ³ /det
Probabilitas Debit Rencana	=	65.00	%
Debit Minimum / unit	=	11.45	m ³ /det (40% Debit Rencana)
Jumlah Unit	=	3.00	unit
Kapasitas Terpasang	=	1.300.00	KW
Annual Enersi	=	410,131,974.05	KWh
Annual Enersi Maks	=	962,190,713.66	KWh
Capacity Factor	=	42.62	%

410.13
962.19

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Energi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Riil	Maks	Riil	Maks
65	90.7	4.869	85.845	0.925	0.970	4.405	3328.4583	3328.4583	29,157,294.35	29,157,294.35
66	83.2	4.869	78.376	0.925	0.970	4.405	3038.8569	3038.8569	26,620,386.79	29,157,294.35
67	75.5	4.869	70.631	0.925	0.970	4.405	2738.5608	2738.5608	23,989,792.24	29,157,294.35
68	71.6	4.869	66.761	0.925	0.970	4.405	2588.5096	2588.5096	22,675,344.09	29,157,294.35
69	68.8	4.869	63.971	0.925	0.970	4.405	2480.3332	2480.3332	21,727,718.69	29,157,294.35
70	50.1	4.869	45.231	0.925	0.970	4.405	1,753.73	1,753.73	15,362,664.87	29,157,294.35
71	42.2	4.869	37.321	0.925	0.970	4.405	1,447.04	1,447.04	12,676,027.96	29,157,294.35
72	37.3	4.869	32.415	0.925	0.970	4.405	1,256.84	1,256.84	11,009,899.84	29,157,294.35
73	36.5	4.869	31.581	0.925	0.970	4.405	1,224.48	1,224.48	10,726,433.04	29,157,294.35
74	36.1	4.869	31.206	0.925	0.970	4.405	1,209.94	1,209.94	10,599,064.03	29,157,294.35
75	35.9	4.869	31.027	0.925	0.970	4.405	1,202.99	1,202.99	10,538,209.95	29,157,294.35
76	35.7	4.869	30.819	0.925	0.970	4.405	1,194.95	1,194.95	10,467,732.43	29,157,294.35
77	35.5	4.869	30.601	0.925	0.970	4.405	1,186.48	1,186.48	10,393,575.37	29,157,294.35
78	35.3	4.869	30.471	0.925	0.970	4.405	1,181.44	1,181.44	10,349,420.78	29,157,294.35
79	35.2	4.869	30.329	0.925	0.970	4.405	1,175.95	1,175.95	10,301,303.60	29,157,294.35
80	35.0	4.869	30.151	0.925	0.970	4.405	1,169.03	1,169.03	10,240,732.56	29,157,294.35
81	34.9	4.869	29.982	0.925	0.970	4.405	1,162.47	1,162.47	10,183,274.98	29,157,294.35
82	34.7	4.869	29.851	0.925	0.970	4.405	1,157.40	1,157.40	10,138,837.35	29,157,294.35
83	34.5	4.869	29.591	0.925	0.970	4.405	1,147.32	1,147.32	10,050,528.18	29,157,294.35
84	34.2	4.869	29.343	0.925	0.970	4.405	1,137.72	1,137.72	9,966,464.63	29,157,294.35
85	34.0	4.869	29.135	0.925	0.970	4.405	1,129.65	1,129.65	9,895,704.07	29,157,294.35
86	33.7	4.869	28.871	0.925	0.970	4.405	1,119.40	1,119.40	9,805,979.68	29,157,294.35
87	33.5	4.869	28.611	0.925	0.970	4.405	1,109.32	1,109.32	9,717,670.51	29,157,294.35
88	33.2	4.869	28.371	0.925	0.970	4.405	1,100.02	1,100.02	9,636,154.34	29,157,294.35

Data :

Head	4.405	m
Debit Total	85.84	m ³ /det
Debit Rencana / unit	28.61	m ³ /det
Probabilitas Debit Rencana	65.00	%
Debit Minimum / unit	11.45	m ³ /det (40% Debit Rencana)
Jumlah Unit	3.00	unit
Kapasitas Terpasang	1,300.00	kW
Annual Enersi	410,131,974.05	kWh
Annual Enersi Maks	962,190,713.66	kWh
Capacity Factor	42.62	%

410.13
962.19

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Enersi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Rill	Maks	Rill	Maks
89	33.0	4.869	28.091	0.925	0.970	4.405	1,089.16	9,541,052.15	29,157,294.35	
90	32.8	4.869	27.911	0.925	0.970	4.405	1,082.18	9,479,915.03	29,157,294.35	
91	32.6	4.869	27.771	0.925	0.970	4.405	1,076.75	9,432,363.93	29,157,294.35	
92	32.5	4.869	27.671	0.925	0.970	4.405	1,072.88	9,398,398.86	29,157,294.35	
93	32.4	4.869	27.557	0.925	0.970	4.405	1,068.48	9,359,905.12	29,157,294.35	
94	32.3	4.869	27.461	0.925	0.970	4.405	1,064.73	9,327,072.22	29,157,294.35	
95	32.2	4.869	27.291	0.925	0.970	4.405	1,058.14	9,269,331.60	29,157,294.35	
96	31.9	4.869	27.031	0.925	0.970	4.405	1,048.06	9,181,022.43	29,157,294.35	
97	31.1	4.869	26.241	0.925	0.970	4.405	1,017.43	8,912,698.39	29,157,294.35	
Total									410,131,974.05	962,190,713.66

Lampiran 6. Perhitungan CF pada Probabilitas 70%

Data :

Head	=	4.405	m
Debit Total	=	45.23	m ³ /det
Debit Rencana / unit	=	15.08	m ³ /det
Probabilitas Debit Rencana	=	70.00	%
Debit Minimum / unit	=	6.03	m ³ /det (40% Debit Rencana)
Jumlah Unit	=	3.00	unit
Kapasitas Terpasang	=	1,300.00	kW
Annual Enersi	=	285,961,437.89	kWh
Annual Enersi Maks	=	430,154,616.39	kWh
Capacity Factor	=	66.48	%

	285.96
	430.15

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Energi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Riil	Maks	Riil	Maks
70	50.1	4.869	45.231	0.925	0.970	4.405	1,753.73	1,753.73	15,362,664.87	15,362,664.87
71	42.2	4.869	37.321	0.925	0.970	4.405	1,447.04	1,447.04	12,676,027.96	15,362,664.87
72	37.3	4.869	32.415	0.925	0.970	4.405	1,256.84	1,256.84	11,009,899.84	15,362,664.87
73	36.5	4.869	31.581	0.925	0.970	4.405	1,224.48	1,224.48	10,726,433.04	15,362,664.87
74	36.1	4.869	31.206	0.925	0.970	4.405	1,209.94	1,209.94	10,599,064.03	15,362,664.87
75	35.9	4.869	31.027	0.925	0.970	4.405	1,202.99	1,202.99	10,538,209.95	15,362,664.87
76	35.7	4.869	30.819	0.925	0.970	4.405	1,194.95	1,194.95	10,467,732.43	15,362,664.87
77	35.5	4.869	30.601	0.925	0.970	4.405	1,186.48	1,186.48	10,393,575.37	15,362,664.87
78	35.3	4.869	30.471	0.925	0.970	4.405	1,181.44	1,181.44	10,349,420.78	15,362,664.87
79	35.2	4.869	30.329	0.925	0.970	4.405	1,175.95	1,175.95	10,301,303.60	15,362,664.87
80	35.0	4.869	30.151	0.925	0.970	4.405	1,169.03	1,169.03	10,240,732.56	15,362,664.87
81	34.9	4.869	29.982	0.925	0.970	4.405	1,162.47	1,162.47	10,183,274.98	15,362,664.87
82	34.7	4.869	29.851	0.925	0.970	4.405	1,157.40	1,157.40	10,138,837.35	15,362,664.87
83	34.5	4.869	29.591	0.925	0.970	4.405	1,147.32	1,147.32	10,050,528.18	15,362,664.87
84	34.2	4.869	29.343	0.925	0.970	4.405	1,137.72	1,137.72	9,966,464.63	15,362,664.87
85	34.0	4.869	29.135	0.925	0.970	4.405	1,129.65	1,129.65	9,895,704.07	15,362,664.87
86	33.7	4.869	28.871	0.925	0.970	4.405	1,119.40	1,119.40	9,805,979.68	15,362,664.87
87	33.5	4.869	28.611	0.925	0.970	4.405	1,109.32	1,109.32	9,717,670.51	15,362,664.87
88	33.2	4.869	28.371	0.925	0.970	4.405	1,100.02	1,100.02	9,636,154.34	15,362,664.87
89	33.0	4.869	28.091	0.925	0.970	4.405	1,089.16	1,089.16	9,541,052.15	15,362,664.87

Data :

Head	4.405	m
Debit Total	45.23	m ³ /det
Debit Rencana / unit	15.08	m ³ /det
Probabilitas Debit Rencana	70.00	%
Debit Minimum / unit	6.03	m ³ /det (40% Debit Rencana)
Jumlah Unit	3.00	unit
Kapasitas Terpasang	1,300.00	kW
Annual Enersi	285,961,437.89	kWh
Annual Enersi Maks	430,154,616.39	kWh
Capacity Factor	66.48	%

285.96
430.15

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Energi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Rill	Maks	Rill	Maks
90	32.8	4.869	27.911	0.925	0.970	4.405	1,082.18	9,479,915.03	15,362,664.87	
91	32.6	4.869	27.771	0.925	0.970	4.405	1,076.75	9,432,363.93	15,362,664.87	
92	32.5	4.869	27.671	0.925	0.970	4.405	1,072.88	9,398,398.86	15,362,664.87	
93	32.4	4.869	27.557	0.925	0.970	4.405	1,068.48	9,359,905.12	15,362,664.87	
94	32.3	4.869	27.461	0.925	0.970	4.405	1,064.73	9,327,072.22	15,362,664.87	
95	32.2	4.869	27.291	0.925	0.970	4.405	1,058.14	9,269,331.60	15,362,664.87	
96	31.9	4.869	27.031	0.925	0.970	4.405	1,048.06	9,181,022.43	15,362,664.87	
97	31.1	4.869	26.241	0.925	0.970	4.405	1,017.43	8,912,698.39	15,362,664.87	
Total									285,961,437.89	430,154,616.39

Lampiran 7. Perhitungan CF pada Probabilitas 75%

Data:

Head	4.405	m
Debit Total	31.03	m ³ /det
Debit Rencana / unit	10.34	m ³ /det
Probabilitas Debit Rencana	75.00	%
Debit Minimum / unit	4.14	m ³ /det (40% Debit Rencana)
Jumlah Unit	3.00	unit
Kapasitas Terpasang	1.300.00	kW
Annual Enersi	225.937,381.48	kWh
Annual Enersi Maks	242.378,828.81	kWh
Capacity Factor	93.22	%

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Enersi (kWh)		
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Riil	Maks	Riil	Maks	
75.0	35.9	4.869	31.027	0.925	0.970	4.405	1,202.99	1,202.99	10,538,209.95	10,538,209.95	
76.0	35.7	4.869	30.819	0.925	0.970	4.405	1,194.95		10,467,732.43	10,538,209.95	
77.0	35.5	4.869	30.601	0.925	0.970	4.405	1,186.48		10,393,575.37	10,538,209.95	
78.0	35.3	4.869	30.471	0.925	0.970	4.405	1,181.44		10,349,420.78	10,538,209.95	
79.0	35.2	4.869	30.329	0.925	0.970	4.405	1,175.95		10,301,303.60	10,538,209.95	
80.0	35.0	4.869	30.151	0.925	0.970	4.405	1,169.03		10,240,732.56	10,538,209.95	
81.0	34.9	4.869	29.982	0.925	0.970	4.405	1,162.47		10,183,274.98	10,538,209.95	
82.0	34.7	4.869	29.851	0.925	0.970	4.405	1,157.40		10,138,837.35	10,538,209.95	
83.0	34.5	4.869	29.591	0.925	0.970	4.405	1,147.32		10,050,528.18	10,538,209.95	
84.0	34.2	4.869	29.343	0.925	0.970	4.405	1,137.72		9,966,464.63	10,538,209.95	
85.0	34.0	4.869	29.135	0.925	0.970	4.405	1,129.65		9,895,704.07	10,538,209.95	
86.0	33.7	4.869	28.871	0.925	0.970	4.405	1,119.40		9,805,979.68	10,538,209.95	
87.0	33.5	4.869	28.611	0.925	0.970	4.405	1,109.32		9,717,670.51	10,538,209.95	
88.0	33.2	4.869	28.371	0.925	0.970	4.405	1,100.02		9,636,154.34	10,538,209.95	
89.0	33.0	4.869	28.091	0.925	0.970	4.405	1,089.16		9,541,052.15	10,538,209.95	
90.0	32.8	4.869	27.911	0.925	0.970	4.405	1,082.18		9,479,915.03	10,538,209.95	
91.0	32.6	4.869	27.771	0.925	0.970	4.405	1,076.75		9,432,363.93	10,538,209.95	
92.0	32.5	4.869	27.671	0.925	0.970	4.405	1,072.88		9,398,398.86	10,538,209.95	
93.0	32.4	4.869	27.557	0.925	0.970	4.405	1,068.48		9,359,905.12	10,538,209.95	
94.0	32.3	4.869	27.461	0.925	0.970	4.405	1,064.73		9,327,072.22	10,538,209.95	
95.0	32.2	4.869	27.291	0.925	0.970	4.405	1,058.14		9,269,331.60	10,538,209.95	
96.0	31.9	4.869	27.031	0.925	0.970	4.405	1,048.06		9,181,022.43	10,538,209.95	
97.0	31.1	4.869	26.241	0.925	0.970	4.578	1,057.39		9,262,731.72	10,538,209.95	
Total										225.937,381.48	242.378,828.81

Lampiran 8. Perhitungan CF pada Probabilitas 80%

Data:

Head	4.405	m
Debit Total	30.15	m ³ /det
Debit Rencana / unit	10.05	m ³ /det
Probabilitas Debit Rencana	80.00	%
Debit Minimum / unit	4.02	m ³ /det (40% Debit Rencana)
Jumlah Unit	3.00	unit
Kapasitas Terpasang	1.300.00	kW
Annual Energi	173.537,106.03	kWh
Annual Energi Maks	184.333,186.06	kWh
Capacity Factor	94.14	%

173.54
184.33

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Energi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Rill	Maks	Rill	Maks
80.0	35.0	4.869	30.151	0.925	0.970	4.405	1,169.03	1,169.03	10,240,732.56	10,240,732.56
81.0	34.9	4.869	29.982	0.925	0.970	4.405	1,162.47		10,183,274.98	10,240,732.56
82.0	34.7	4.869	29.851	0.925	0.970	4.405	1,157.40		10,138,837.35	10,240,732.56
83.0	34.5	4.869	29.591	0.925	0.970	4.405	1,147.32		10,050,528.18	10,240,732.56
84.0	34.2	4.869	29.343	0.925	0.970	4.405	1,137.72		9,966,464.63	10,240,732.56
85.0	34.0	4.869	29.135	0.925	0.970	4.405	1,129.65		9,895,704.07	10,240,732.56
86.0	33.7	4.869	28.871	0.925	0.970	4.405	1,119.40		9,805,979.68	10,240,732.56
87.0	33.5	4.869	28.611	0.925	0.970	4.405	1,109.32		9,717,670.51	10,240,732.56
88.0	33.2	4.869	28.371	0.925	0.970	4.405	1,100.02		9,636,154.34	10,240,732.56
89.0	33.0	4.869	28.091	0.925	0.970	4.405	1,089.16		9,541,052.15	10,240,732.56
90.0	32.8	4.869	27.911	0.925	0.970	4.405	1,082.18		9,479,915.03	10,240,732.56
91.0	32.6	4.869	27.771	0.925	0.970	4.405	1,076.75		9,432,363.93	10,240,732.56
92.0	32.5	4.869	27.671	0.925	0.970	4.405	1,072.88		9,398,398.86	10,240,732.56
93.0	32.4	4.869	27.557	0.925	0.970	4.405	1,068.48		9,359,905.12	10,240,732.56
94.0	32.3	4.869	27.461	0.925	0.970	4.405	1,064.73		9,327,072.22	10,240,732.56
95.0	32.2	4.869	27.291	0.925	0.970	4.405	1,058.14		9,269,331.60	10,240,732.56
96.0	31.9	4.869	27.031	0.925	0.970	4.405	1,048.06		9,181,022.43	10,240,732.56
97.0	31.1	4.869	26.241	0.925	0.970	4.405	1,017.43		8,912,698.39	10,240,732.56
Total									173,537,106.03	184,333,186.06

Lampiran 9. Perhitungan CF pada Probabilitas 85%

Data :

Head	=	4.405	m
Debit Total	=	29.13	m ³ /det
Debit Rencana / unit	=	9.71	m ³ /det
Probabilitas Debit Rencana	=	85.00	%
Debit Minimum / unit	=	3.88	m ³ /det (40% Debit Rencana)
Jumlah Unit	=	3.00	unit
Kapasitas Terpasang	=	1,300.00	kW
Annual Enersi	=	122,957,268.33	kWh
Annual Enersi Maks	=	128,644,152.96	kWh
Capacity Factor	=	95.58	%

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Enersi (kWh)	
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Riil	Maks	Riil	Maks
85.0	34.0	4.869	28.135	0.925	0.970	4.405	1,129.65	1,129.65	9,895,704.07	9,895,704.07
86.0	33.7	4.869	28.871	0.925	0.970	4.405	1,119.40		9,805,979.68	9,895,704.07
87.0	33.5	4.869	28.611	0.925	0.970	4.405	1,109.32		9,717,670.51	9,895,704.07
88.0	33.2	4.869	28.371	0.925	0.970	4.405	1,100.02		9,636,154.34	9,895,704.07
89.0	33.0	4.869	28.091	0.925	0.970	4.405	1,089.16		9,541,052.15	9,895,704.07
90.0	32.8	4.869	27.911	0.925	0.970	4.405	1,082.18		9,479,915.03	9,895,704.07
91.0	32.6	4.869	27.771	0.925	0.970	4.405	1,076.75		9,432,363.93	9,895,704.07
92.0	32.5	4.869	27.671	0.925	0.970	4.405	1,072.88		9,398,398.86	9,895,704.07
93.0	32.4	4.869	27.557	0.925	0.970	4.405	1,068.48		9,359,905.12	9,895,704.07
94.0	32.3	4.869	27.461	0.925	0.970	4.405	1,064.73		9,327,072.22	9,895,704.07
95.0	32.2	4.869	27.291	0.925	0.970	4.405	1,058.14		9,269,331.60	9,895,704.07
96.0	31.9	4.869	27.031	0.925	0.970	4.405	1,048.06		9,181,022.43	9,895,704.07
97.0	31.1	4.869	26.241	0.925	0.970	4.405	1,017.43		8,912,698.39	9,895,704.07
Total									122,957,268.33	128,644,152.96

Lampiran 10. Perhitungan CF pada Probabilitas 90%

Data :

Head	4.405	m
Debit Total	27.91	m ³ /det
Debit Rencana / unit	9.30	m ³ /det
Probabilitas Debit Rencana	90.00	%
Debit Minimum / unit	3.72	m ³ /det (40% Debit Rencana)
Jumlah Unit	3.00	unit
Kapasitas Terpasang	1,300.00	KW
Annual Enersi	74,360,707.57	KWh
Annual Enersi Maks	75,839,320.22	KWh
Capacity Factor	98.05	%

74.36
75.84

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Energi (kWh)		
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Riil	Maks	Riil	Maks	
90.0	32.8	4.869	27.911	0.925	0.970	4.405	1,082.18	1,082.18	9,479,915.03	9,479,915.03	
91.0	32.6	4.869	27.771	0.925	0.970	4.405	1,076.75	1,076.75	9,432,363.93	9,479,915.03	
92.0	32.5	4.869	27.671	0.925	0.970	4.405	1,072.88	1,072.88	9,398,398.86	9,479,915.03	
93.0	32.4	4.869	27.557	0.925	0.970	4.405	1,068.48	1,068.48	9,359,905.12	9,479,915.03	
94.0	32.3	4.869	27.461	0.925	0.970	4.405	1,064.73	1,064.73	9,327,072.22	9,479,915.03	
95.0	32.2	4.869	27.291	0.925	0.970	4.405	1,058.14	1,058.14	9,269,331.60	9,479,915.03	
96.0	31.9	4.869	27.031	0.925	0.970	4.405	1,048.06	1,048.06	9,181,022.43	9,479,915.03	
97.0	31.1	4.869	26.241	0.925	0.970	4.405	1,017.43	1,017.43	8,912,698.39	9,479,915.03	
Total										74,360,707.57	75,839,320.22

Lampiran 11. Perhitungan CF pada Probabilitas 95%

Data :

=	Head	4.405	m
=	Debit Total	27.29	m ³ /det
=	Debit Rencana / unit	9.10	m ³ /det
=	Probabilitas Debit Rencana	95.00	%
=	Debit Minimum / unit	3.64	m ³ /det (40% Debit Rencana)
=	Jumlah Unit	3.00	unit
=	Kapasitas Terpasang	1.300.00	kW
=	Annual Enersi	27.363,052.41	kWh
=	Annual Enersi Maks	27.807,994.81	kWh
=	Capacity Factor	98.40	%

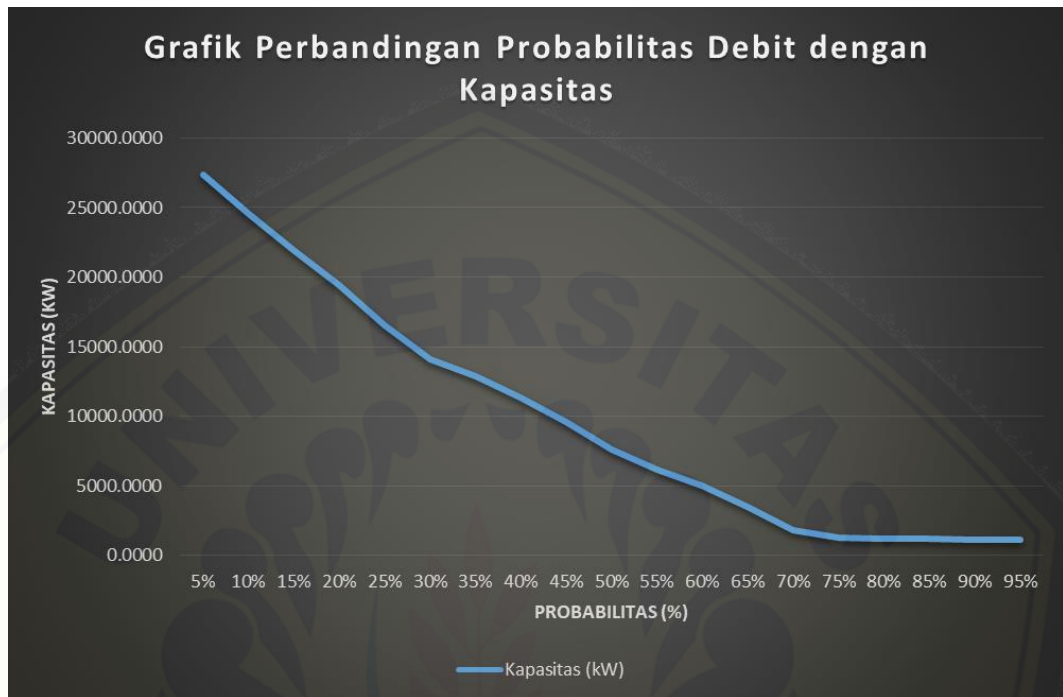
27.36
27.81

Probabilitas (%)	Debit (m ³ /det)	Debit (m ³ /det)		Efisiensi		Head (m)	Output (kW)		Enersi (kWh)		
		Irigasi	Pembangkit	Turbin	Generator		Riil	Maks	Riil	Maks	
95.0	32.2	4.869	27.291	0.925	0.970	4.405	1,058.14	1,058.14	9,269,331.60	9,269,331.60	
96.0	31.9	4.869	27.031	0.925	0.970	4.405	1,048.06		9,181,022.43	9,269,331.60	
97.0	31.1	4.869	26.241	0.925	0.970	4.405	1,017.43		8,912,698.39	9,269,331.60	
Total										27,363,052.41	27,807,994.81

Lampiran 12. Rekapitulasi Berbagai Probabilitas

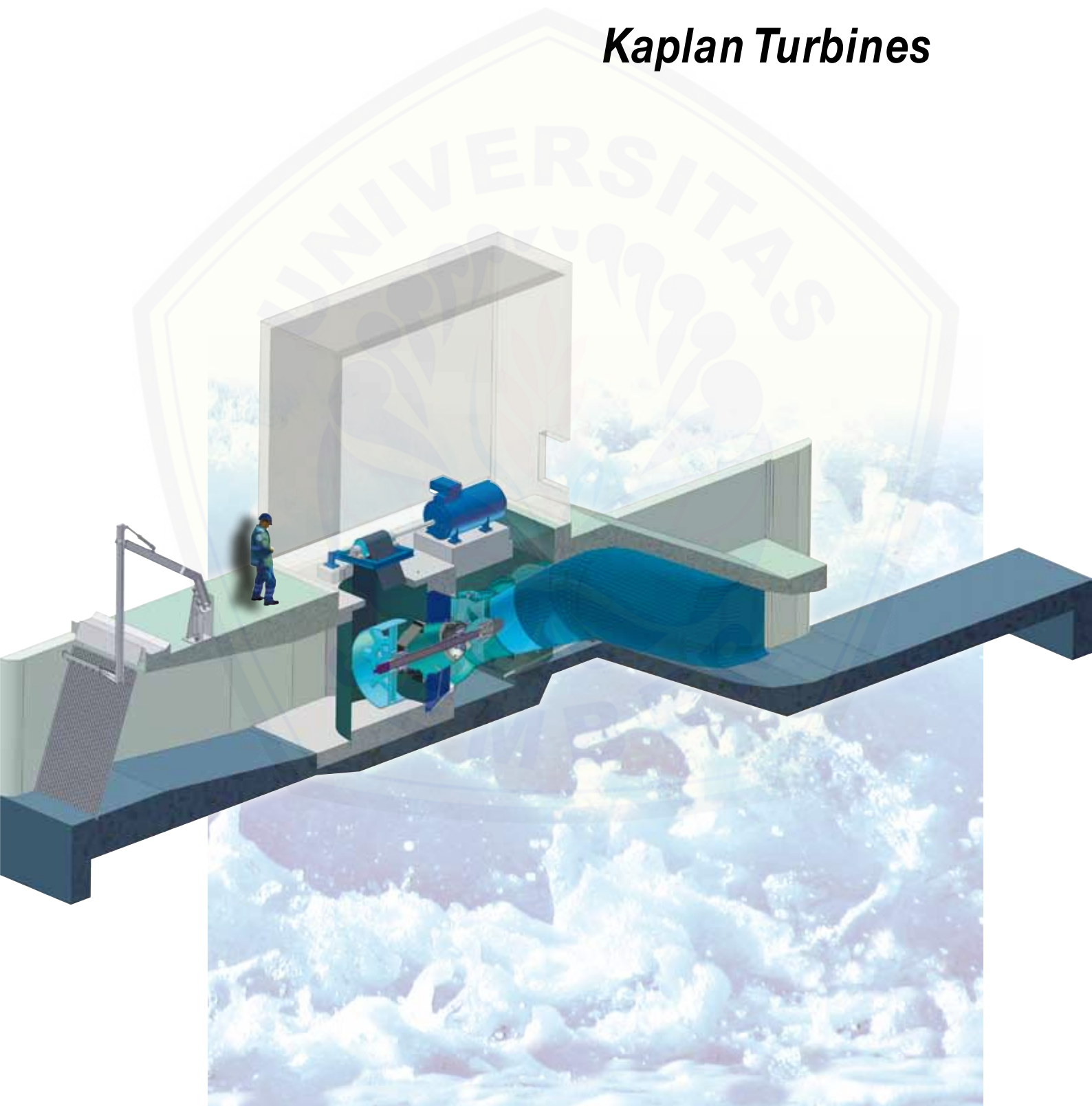
No	Probabilitas (%)	Debit Pembangkit (m ³ /det)	Tinggi Jatuh (m)	Daya (kW)	Energi Tahunan (kWh)	Capacity Factor (%)
1	5%	679.5308	4.405	27382.1405	239,867,551.10	55.17
2	10%	609.3708	4.405	24554.9971	215,101,774.60	54.69
3	15%	544.0508	4.405	21922.8847	192,044,469.57	54.87
4	20%	482.2670	4.405	19433.2677	170,235,425.34	56.63
5	25%	410.7708	4.405	16552.2792	144,997,965.99	57.79
6	30%	349.8308	4.405	14096.6618	123,486,757.04	59.88
7	35%	318.8508	4.405	12848.3022	112,551,127.68	57.35
8	40%	280.6474	4.405	11308.8738	99,065,734.10	57.90
9	45%	237.4908	4.405	9569.8474	83,831,863.49	58.35
10	50%	187.8908	4.405	7285.0721	63,817,231.43	36.64
11	55%	151.9108	4.405	5890.0228	51,596,599.82	37.53
12	60%	124.5908	4.405	4830.7469	42,317,343.14	36.85
13	65%	85.8449	4.405	3328.4583	29,157,294.35	42.62
14	70%	45.2308	4.405	1753.7289	15,362,664.87	66.48
15	75%	31.0266	4.405	1202.9920	10,538,209.95	93.22
16	80%	30.1508	4.405	1169.0334	10,240,732.56	94.14
17	85%	29.1349	4.405	1129.6466	9,895,704.07	95.58
18	90%	27.9108	4.405	1082.1821	9,479,915.03	98.05
19	95%	27.2908	4.405	1058.1429	9,269,331.60	98.40

Lampiran 13.





Kaplan Turbines



Development

Based on the principles of a Francis Turbine the Kaplan Turbine was developed by the Austrian engineer Victor Kaplan towards the beginning of the 20th century. Due to its adjustable runner blades this turbine system is most adaptive. Apart from the original version with vertical shaft and inlet spiral case the bulb turbine variant has spread widely over the world.

Principle

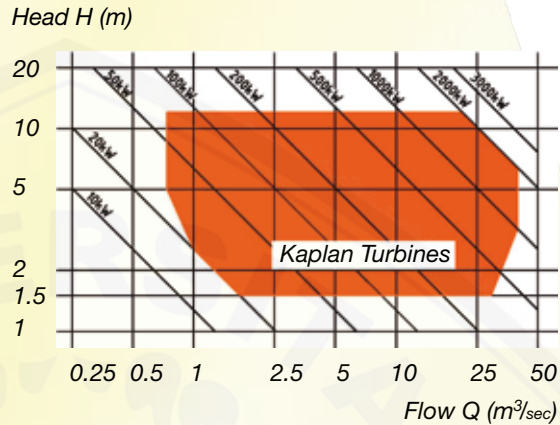
The Kaplan Turbine is of the reaction type. The velocity of the water decreases steadily, entering the guide vanes, passing through the runner and final exit. The twist in water flow runs in parallel to the turbine shaft and to the fully admitted runner blades, where the pressure for energy conversion is reduced further. Special constructional measures are necessary to prevent cavitation.

The water flow is regulated by adjustable guide vanes. To achieve optimum efficiency at varying flows, the runner blades are automatically adjusted in relation to the wicket gate position.

Range of utilization

The Kaplan Turbine has an outstanding reputation for its high specific flow capacity. As a double-regulated turbine it is therefore most suitable for low heads and large flows, but also for variations in flow and head. Its main utilization concentrates on heads between 1.5 meters and 15 meters maximum.

Envelope



A strong team

Your power station will be made to the OSSBERGER CONCEPT.

More than 10,000 power stations have been tailor-made this way world-wide thereby implementing the highest technical standards at favorable costs. In Cooperation with you as the investor, a highly-efficient project management is provided.

The well-engineered hydraulic machine is manufactured by HSI. The well-proven trash rack cleaner and the comprehensively constructed and reliable turbine controller are of the Ossberger production line. All other components are products of renowned manufacturers.

For more than 100 years we have been serving our customers successfully implementing matured and well-proven techniques, using up to date components to the latest technical standards at the same time.

For these reasons Ossberger has been for decades the technological leader in the field of small scale hydro power for its customers' benefit. This holds true at the same time for the hydraulic turbine, the turbine regulation, the control system as well as for the automatic trash rack cleaning machine.

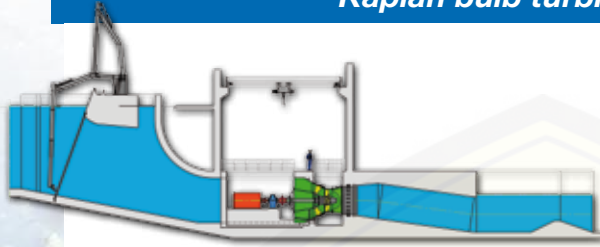
Power unit design and construction is always a balancing act: Individual units must be offered at favorable costs for different potential forms of energy.

This has been perfected by Ossberger, by using standardized components.



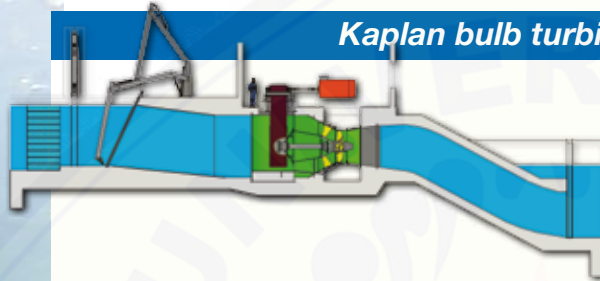
Kaplan Turbine Program:

Kaplan bulb turbine, construction type A with gearbox



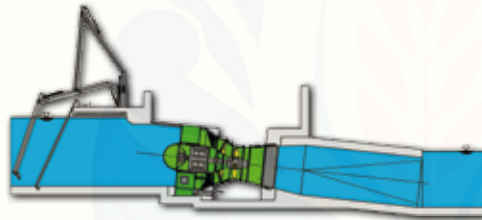
Heads: 1.5 m – 20 m
 Flow rates: 2 m³/sec – 60 m³/sec
 Runner diameters: 0.63 m – 2.8 m
 Outputs: up to 3,500 kW
 Number of blades: 3, 4 and 5

Kaplan bulb turbine, construction type A with belt



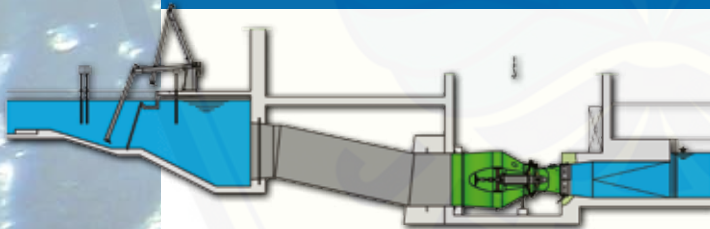
Heads: 1.5 m – 20 m
 Flow rates: 2 m³/sec – 60 m³/sec
 Runner diameters: 0.63 m – 2.8 m
 Outputs: up to 3,500 kW
 Number of blades: 3, 4 and 5

Kaplan bulb turbine, construction type B



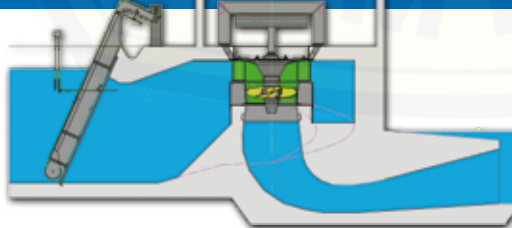
Heads: 2 m – 20 m
 Flow rates: 5 m³/sec – 60 m³/sec
 Runner diameters: 1.41 m – 2.8 m
 Outputs: up to 3,500 kW
 Number of blades: 3, 4 and 5

Kaplan bulb turbine, construction type R



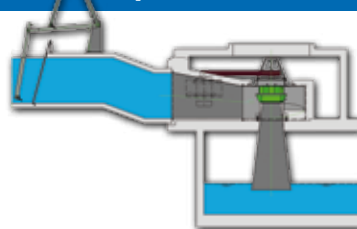
Heads: 3 m – 12 m
 Flow rates: 1.5 m³/sec – 7 m³/sec
 Runner diameters: 0.63 m – 1.0 m
 Outputs: up to 700 kW
 Number of blades: 3, 4 and 5

Kaplan vertical turbine, construction type T (+K)



Heads: 1 m – 25 m
 Flow rates: 0.2 m³/sec – 40 m³/sec
 Runner diameters: 0.25 m – 3.0 m
 Outputs: up to 3,000 kW
 Number of blades: 4, 5 and 6

Kaplan vertical turbine, construction type S

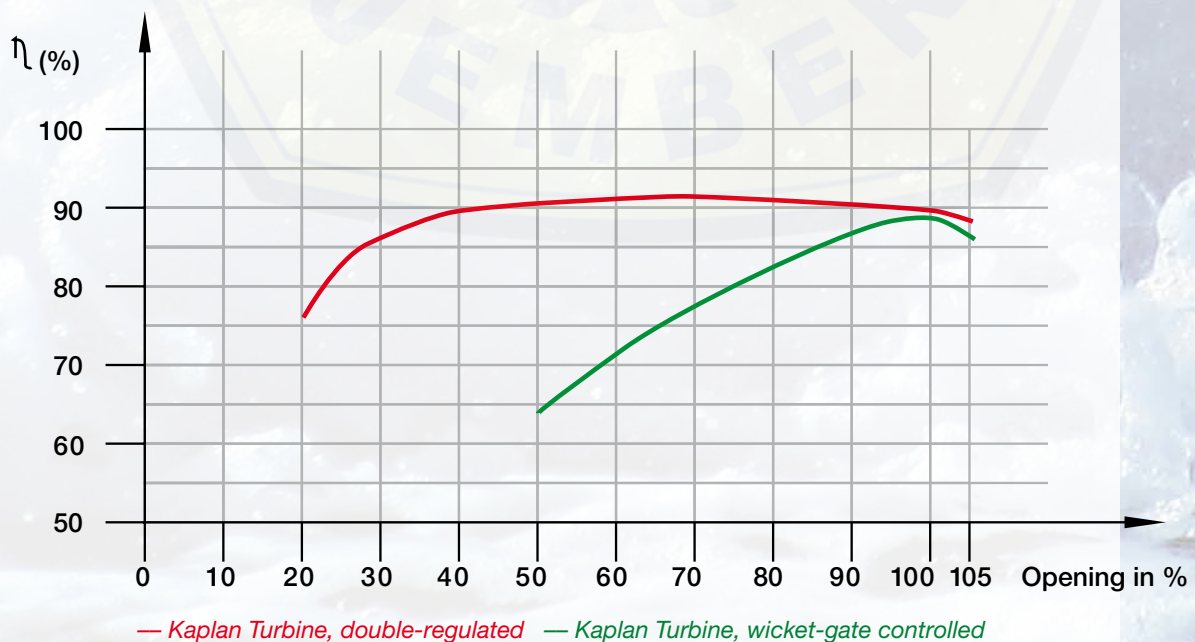


Heads: 1.5 m – 25 m
 Flow rates: 2 m³/sec – 40 m³/sec
 Runner diameters: 0.56 m – 3.0 m
 Outputs: up to 3,000 kW
 Number of blades: 4, 5 and 6

Turbine type Comparison	A	R	B	K	T	S	BBD
Admission and discharge frontal	•	•	•	-	-	-	•
Admission and discharge displaced	-	-	-	•	•	•	-
3 Runner blades	•	•	•	-	-	-	•
4 Runner blades	•	•	•	•	•	•	•
5 Runner blades	•	•	•	•	•	•	•
6 Runner blades	-	-	-	•	•	•	-
Direct coupling	•	•	•	•	•	•	•
Belt drive (up to 1,000 kW)	•	•	-	•	•	•	-
Gearbox (outputs > 1,000 kW)	•	•	-	-	•	•	-
Min. head (meters)	1.5	3	2	1	1	1.5	2
Max. head (meters)	20	12	20	12	25	25	5
Min. runner diameter (meters)	0.63	0.63	1.41	0.25	0.56	0.56	1.00
Max. runner diameter (meters)	2.80	1.00	2.80	0.90	3.00	3.00	2.00
Min. flow (m ³ /sec)	2	1.5	5	0.2	2	2	3.5
Max. flow (m ³ /sec)	60	7	60	5.3	40	40	25
Min. output (kW)	50	40	100	10	100	100	60
Max. output (kW)	3, 500	700	3,500	500	3,000	3,000	1,800

• = Positive - = Negative

Efficiency curve

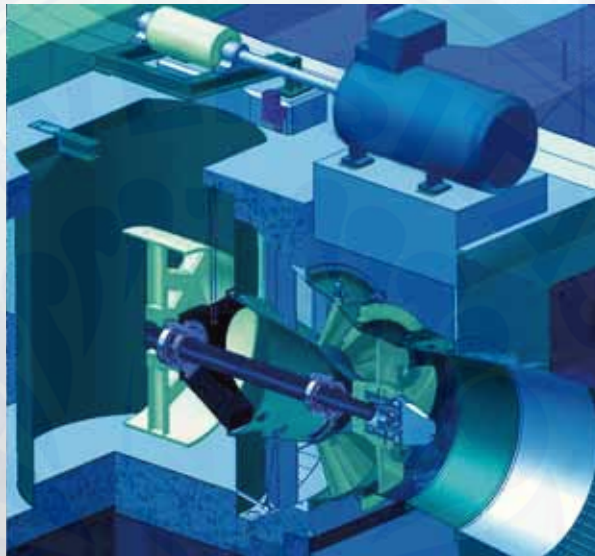


Kaplan bulb turbine, construction type A:

Available with three, four or five runner blades. An inclined or horizontal installation of the shaft is possible. Speed transmission with flat high-capacity belt for outputs of up to 1,000 kW, and with parallel shaft gears for larger outputs. This machine is also available as construction type R for connection to a penstock and with belt drive connected sideways.

Kaplan bulb turbine, construction type B:

This further development of construction type A is outstanding for the use of a permanent-magnet-excited synchronous generator (PMG). The generator rotor is mounted onto the turbine shaft. Therefore, one set of bearings is eliminated. As the stator is located inside the turbine bulb and surrounded by water, optimum cooling is provided.



Kaplan Turbines, construction types K, T, S:

These construction types incorporate a vertical shaft and are particularly suitable if existing civil structures must be considered. Intake and discharge do not necessarily need to be in line – looking at plan view. Turbines are available with three, four, five or six runner blades. Whereas inlet scroll cases of construction types K and T are made of concrete, construction type S is supplied with a scroll case in steel. Reduced risk of a clogged runner due to the spiral twist.

Kaplan Turbine, construction type BBD:

Also called “Movable Power Station”: A compact solution, suitable for existing weirs. The whole plant essentially consists of a semi-sphere screen with trash rack cleaner, a movable weir flap and a Kaplan bulb turbine with permanent-magnet-excited synchronous generator, similar to construction type B. In case of high water condition, the whole plant can be hydraulically swiveled, up or down, to accommodate the rising water level and divert the flow discharge as needed.



The automatic trash rack cleaner is indispensable, increasing energy production.

What you can expect:

Supply Provision

If transportable by normal means, the unit arrives on site completely assembled. Installation can therefore be completed within a few days.

Turbine Shaft

Hollow shaft with internally sealed adjusting rod for the runner blade setting.

Shaft Bearings

Low-maintenance type, grease-lubricated with programmed automatic lubrication system.

Shaft Seals

The multi-chamber type lip seal is connected to the automatic lubrication system. The seal does not require re-adjustment and is therefore maintenance-free. The shaft protection sleeve is exchangeable and the seal faces are hard-chrome plated or coated with corrosion-proof hard ceramic materials to resist wear.

Runner

The runner blades are made of aluminum-nickel bronze, which is highly resistant to wear and cavitation (EN-CC333G) or of chrome-nickel steel. The blades are uniformly set by the adjusting rod and the lever mechanism, located inside the hub. The vane plates are double-sealed to protect against water leakage.

The number of runner blades and the material composition of hub and vane head depend on individual requirements and utilization of the hydro plant.

Runner Blade Adjustment

The runner blade setting is accomplished by means of a double acting hydraulic cylinder which is rotating with the turbine shaft. The hydraulic oil supply line for the cylinder is equipped with a special rotary adapter device.

Runner Housing

Is hemi-spherical, as fabricated steel construction.

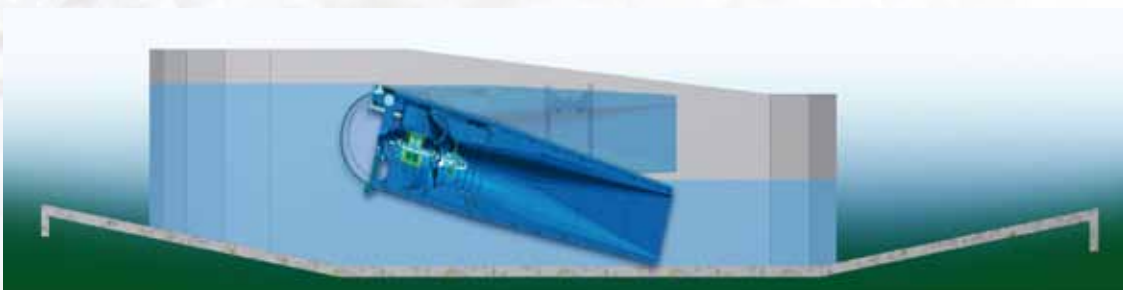
Wicket Gates

The wicket gate design depends on the turbine construction type. A detailed description will appear in your cost proposal.

All turbine types offered include maintenance-free bushings for the wicket gate axels.

Design Concept

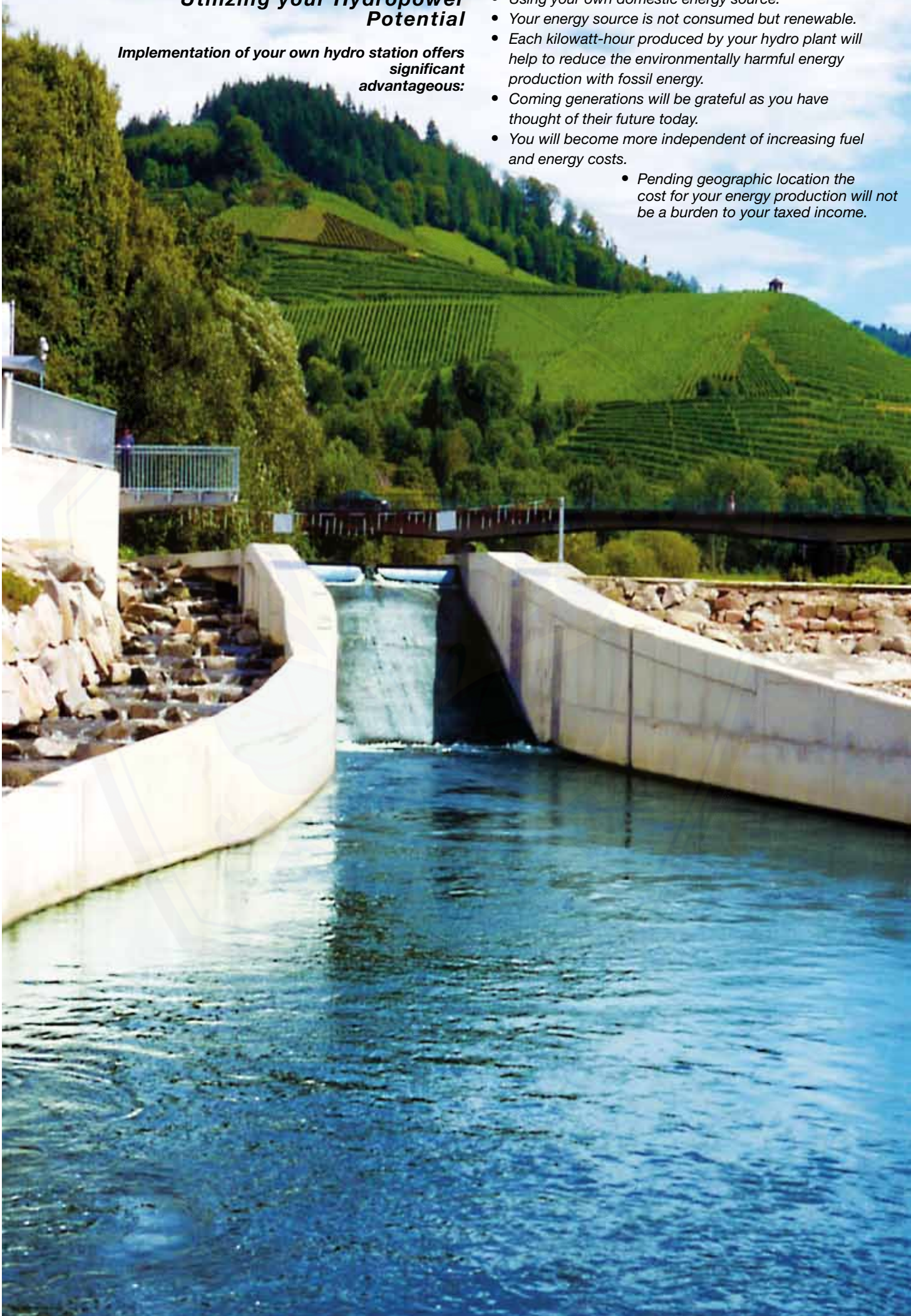
Detailed individual investigations have shown, that multiple standardized units are superior to solutions with excessively large runner diameters. This superiority is a result of the lesser expenses for machinery and civil works and the higher flexibility in regards to flow variations.



Utilizing your Hydropower Potential

Implementation of your own hydro station offers significant advantageous:

- *Using your own domestic energy source.*
- *Your energy source is not consumed but renewable.*
- *Each kilowatt-hour produced by your hydro plant will help to reduce the environmentally harmful energy production with fossil energy.*
- *Coming generations will be grateful as you have thought of their future today.*
- *You will become more independent of increasing fuel and energy costs.*
- *Pending geographic location the cost for your energy production will not be a burden to your taxed income.*



Hydropower stations must conform to site specific conditions requiring diverse operating tasks.

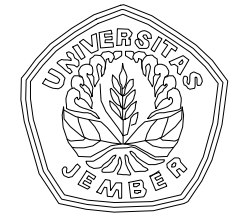
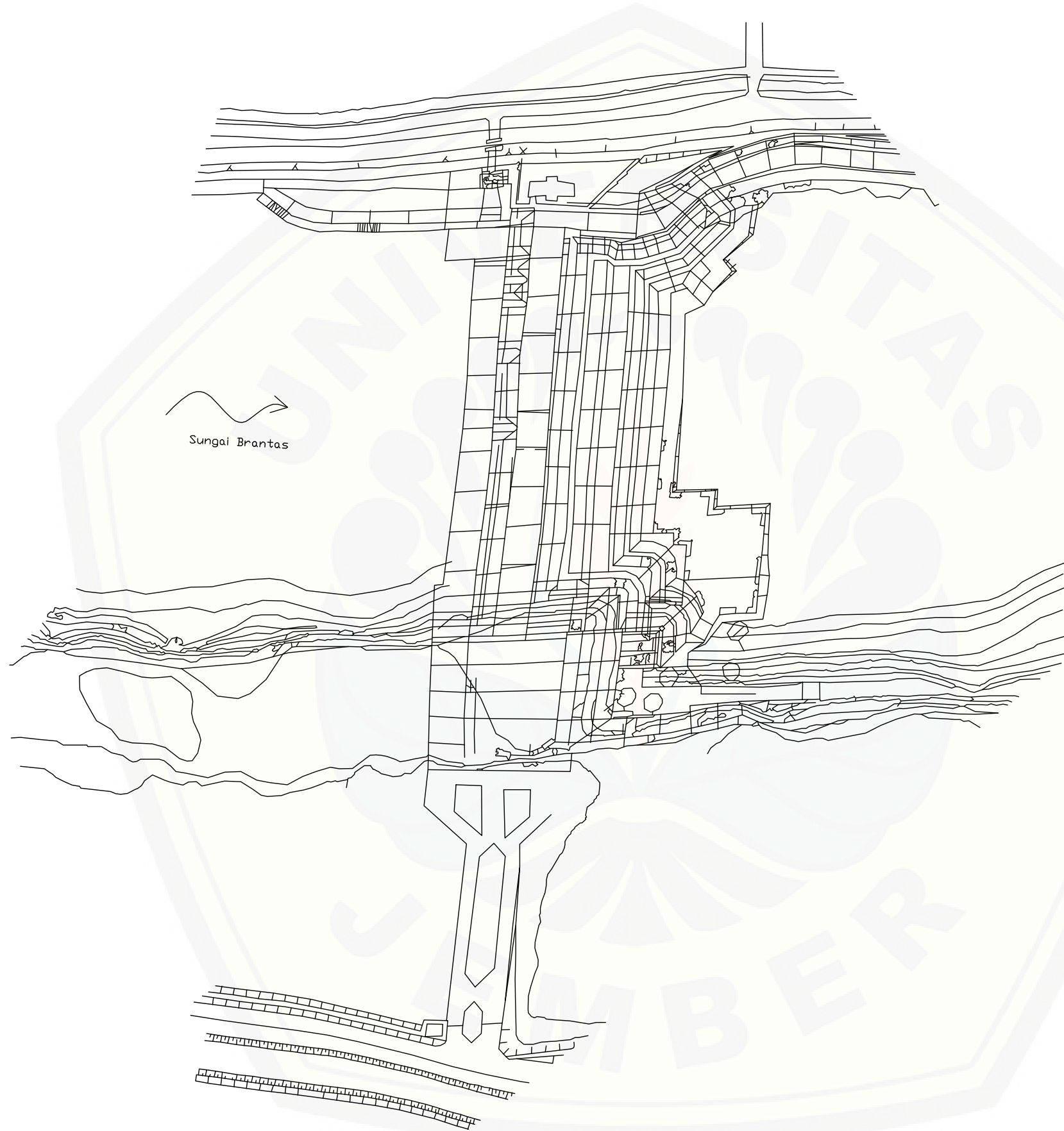
OSSBERGER builds tailor-made hydro stations – world-wide!



OSSBERGER GmbH + Co
Otto-Rieder-Straße 7, 91781 Weißenburg
P.O.Box 4 25, 91773 Weißenburg
Bavaria - Germany
Fon 00 49 (0) 91 41 / 9 77 - 0
Fax 00 49 (0) 91 41 / 9 77 - 20
E-Mail info@ossberger.de
web www.ossberger.de



In cooperation with HSI
Hydro Engineering GmbH



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Faks. (0331) 484977, 410241
web: www.unj.ac.id

TUGAS AKHIR

PEKERJAAN

PERENCANAAN PLTA
DAM KARET JATIMLEREK

GAMBAR

TAMPAK ATAS BENDUNG

NAMA Aida Putri Ariansyah

NIM 141910301106

DOSEN PEMBIMBING UTAMA

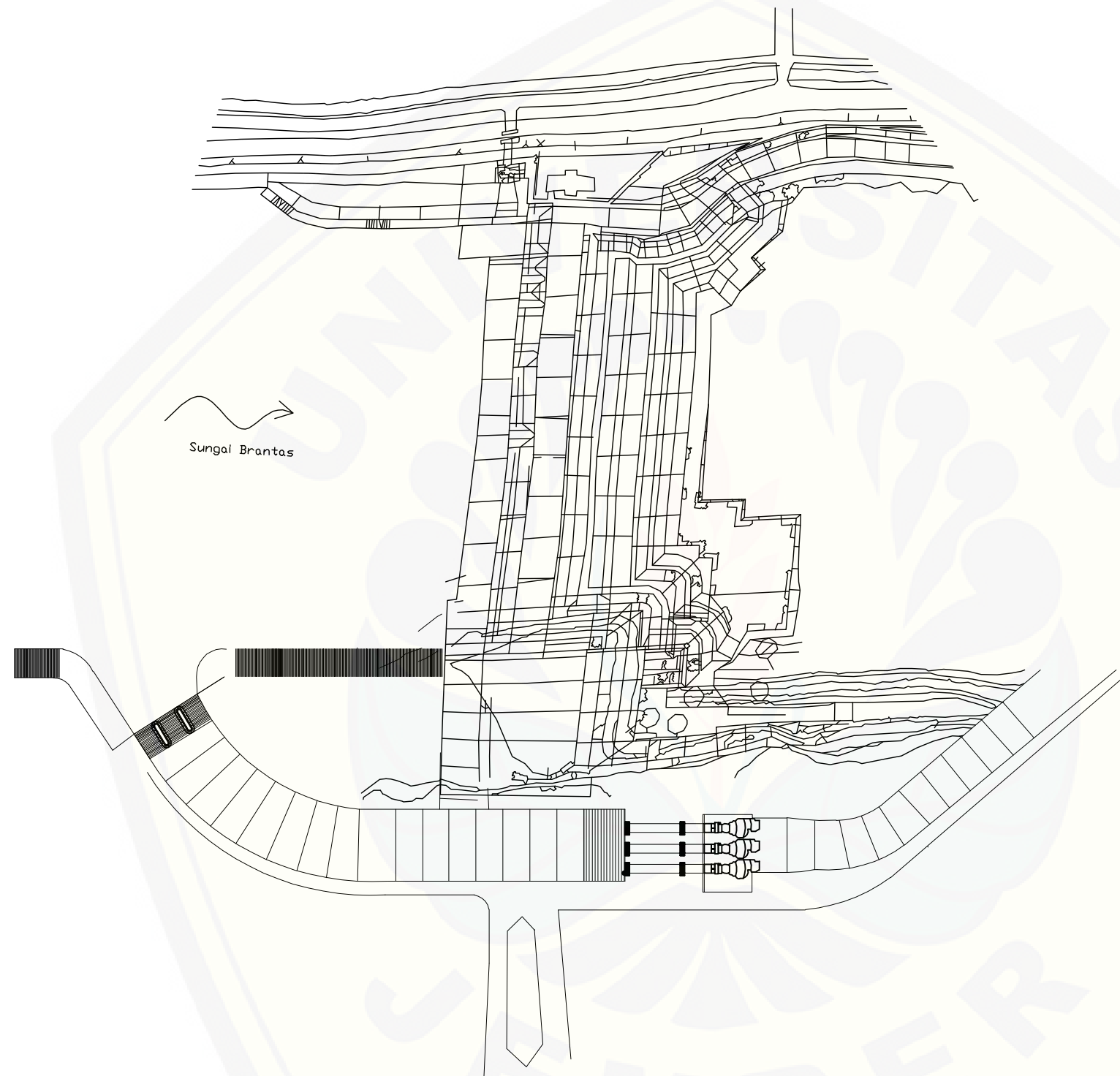
(Dr. Ir. Entin Hidayah, MUM)
NIP. 19661215 199503 2 001

DOSEN PEMBIMBING ANGGOTA

(Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T)
NIP. 19710804 199803 1 002

SKALA	NOMOR	TANGGAL
-------	-------	---------

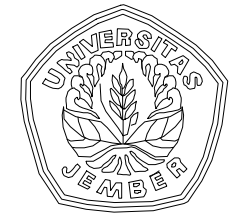
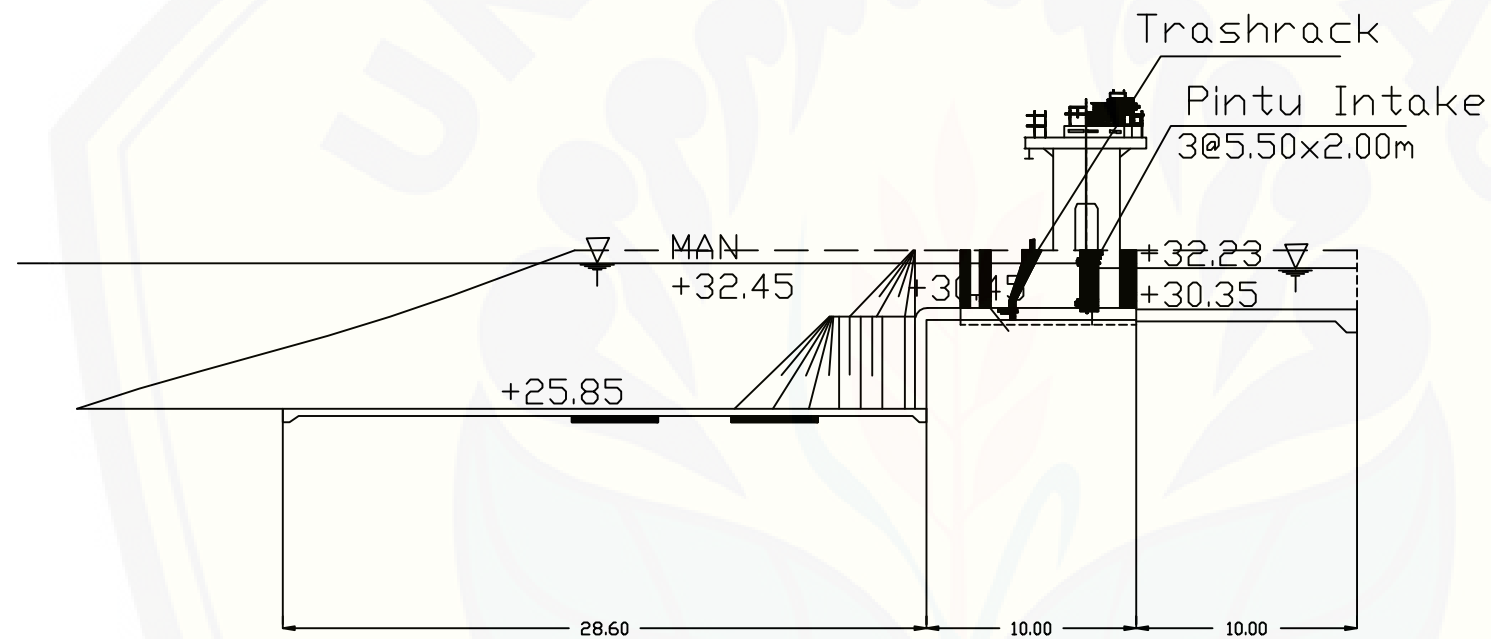
1 : 1500	1/12	
----------	------	--



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
 UNIVERSITAS JEMBER
 FAKULTAS TEKNIK
 PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
 Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Faks. (0331) 484977, 410241
 web: www.unj.ac.id

TUGAS AKHIR

PEKERJAAN		
PERENCANAAN PLTA DAM KARET JATIMLEREK		
GAMBAR		
SITEPLAN		
NAMA	Aida Putri Ariansyah	
NIM	141910301106	
DOSEN PEMBIMBING UTAMA		
(Dr. Ir. Entin Hidayah, MUM) NIP. 19861215 199503 2 001		
DOSEN PEMBIMBING ANGGOTA		
(Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T) NIP. 19710804 199803 1 002		
SKALA	NOMOR	TANGGAL
1 : 1500	2/12	



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Fax. (0331) 484977, 410241
web: www.unj.ac.id

TUGAS AKHIR

PEKERJAAN

PERENCANAAN PLTA
DAM KARET JATIMLEREK

GAMBAR

DETAIL HULU
WATERWAY

NAMA Aida Putri Ariansyah

NIM 141910301106

DOSEN PEMBIMBING UTAMA

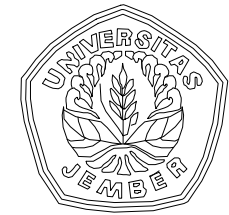
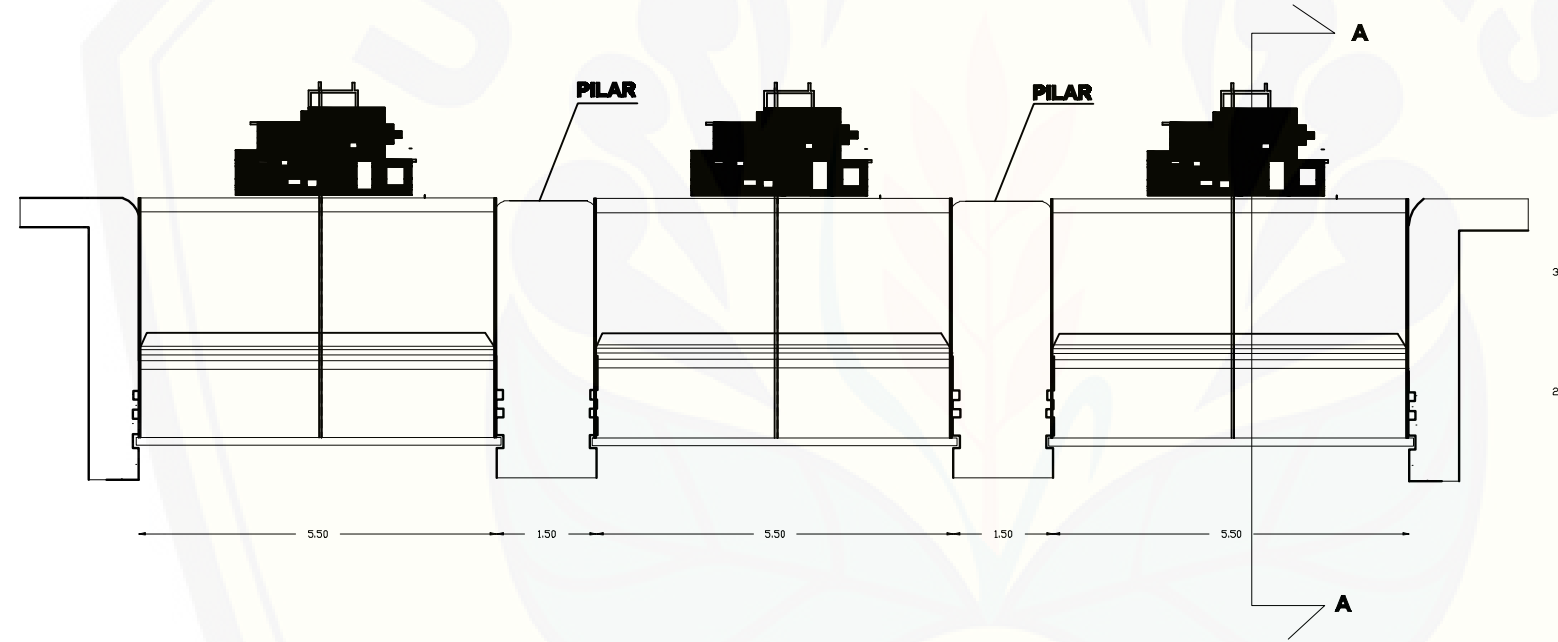
(Dr. Ir. Entin Hidayah, MUM)
NIP. 19661215 199503 2 001

DOSEN PEMBIMBING ANGGOTA

(Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T)
NIP. 19710804 199803 1 002

SKALA	NOMOR	TANGGAL
-------	-------	---------

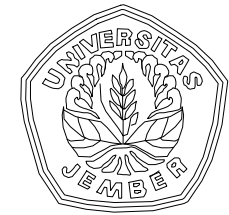
1 : 300	4/12	
---------	------	--



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
 UNIVERSITAS JEMBER
 FAKULTAS TEKNIK
 PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
 Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Fax. (0331) 484977, 410241
 web: www.unj.ac.id

TUGAS AKHIR

PEKERJAAN		
PERENCANAAN PLTA DAM KARET JATIMLEREK		
GAMBAR		
TAMPAK DEPAN KONSTRUKSI PINTU INTAKE		
NAMA	Aida Putri Ariansyah	
NIM	141910301106	
DOSEN PEMBIMBING UTAMA		
(Dr. Ir. Entin Hidayah, MUM) NIP. 19661215 199503 2 001		
DOSEN PEMBIMBING ANGGOTA		
(Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T) NIP. 19710804 199803 1 002		
SKALA	NOMOR	TANGGAL
1 : 100	5/12	



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
 UNIVERSITAS JEMBER
 FAKULTAS TEKNIK
 PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
 Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Faks. (0331) 484977, 410241
 web: www.unj.ac.id

TUGAS AKHIR

PEKERJAAN

PERENCANAAN PLTA
 DAM KARET JATIMLEREK

GAMBAR

POTONGAN MEMANJANG
 PINTU INTAKE

NAMA | Aida Putri Ariansyah

NIM | 141910301106

DOSEN PEMBIMBING UTAMA

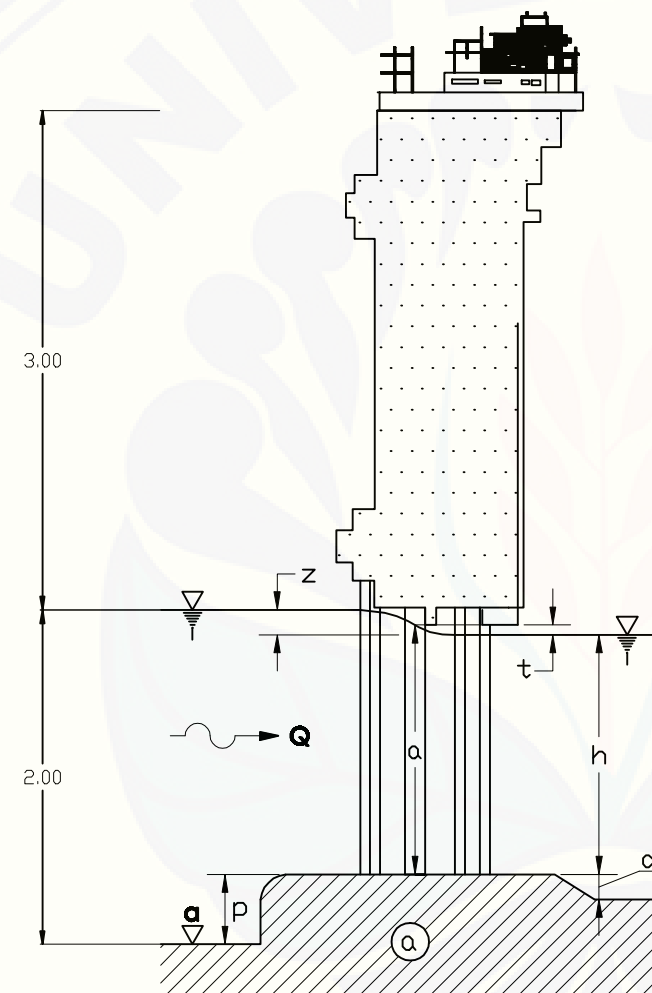
(Dr. Ir. Entin Hidayah, MUM)
 NIP. 19861215 199503 2 001

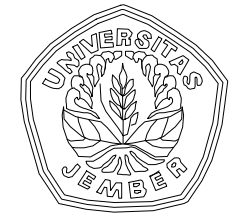
DOSEN PEMBIMBING ANGGOTA

(Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T)
 NIP. 19710804 199803 1 002

SKALA	NOMOR	TANGGAL
-------	-------	---------

1 : 50	6/12	
--------	------	--





KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Fax. (0331) 484977, 410241
web: www.unj.ac.id

TUGAS AKHIR

PEKERJAAN

PERENCANAAN PLTA
DAM KARET JATIMLEREK

GAMBAR

DETAIL PINTU INTAKE

NAMA Aida Putri Ariansyah

NIM 141910301106

DOSEN PEMBIMBING UTAMA

(Dr. Ir. Entin Hidayah, MUM)
NIP. 19661215 199503 2 001

DOSEN PEMBIMBING ANGGOTA

(Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T)
NIP. 19710804 199803 1 002

SKALA NOMOR TANGGAL

1 : 50

7/12

KETENTUAN KP-02

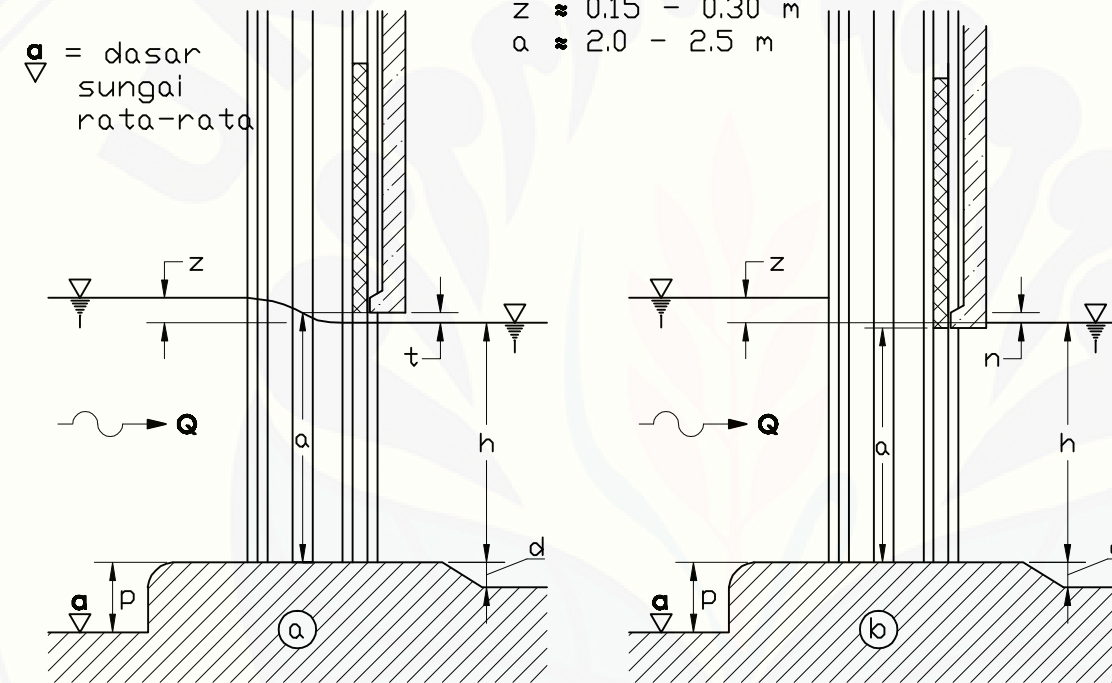
$p \approx 0.50 - 1.50 \text{ m}$

$d \approx 0.15 - 0.25 \text{ m}$

$z \approx 0.15 - 0.30 \text{ m}$

$a \approx 2.0 - 2.5 \text{ m}$

∇a = dasar
sungai
rata-rata



HASIL PERHITUNGAN

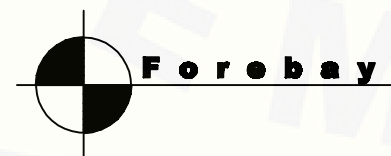
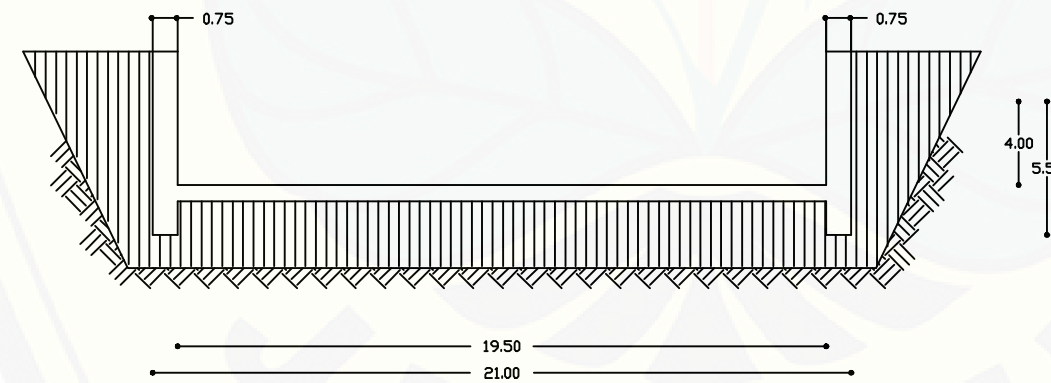
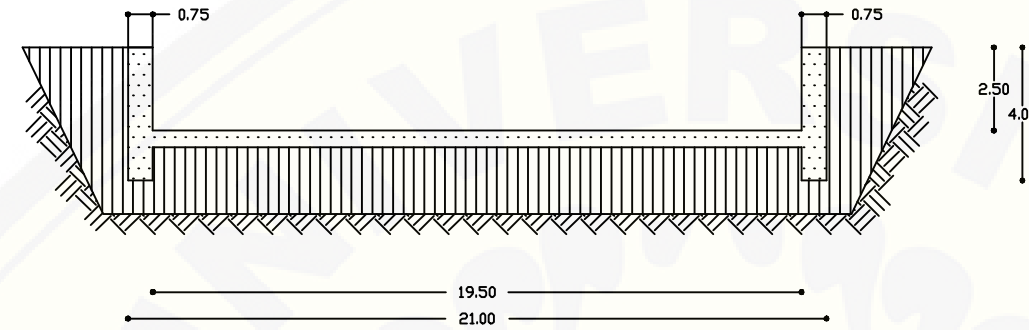
$p = 0.50 \text{ m}$

$d = 0.10 \text{ m}$

$z = 0.22 \text{ m}$

$a = 2.00 \text{ m}$

$h = 1.78 \text{ m}$



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Fax. (0331) 484977, 410241
web: www.unj.ac.id

TUGAS AKHIR

PEKERJAAN

PERENCANAAN PLTA
DAM KARET JATIMLEREK

GAMBAR

POTONGAN MELINTANG
SALURAN

NAMA Aida Putri Ariansyah

NIM 141910301106

DOSEN PEMBIMBING UTAMA

(Dr. Ir. Entin Hidayah, MUM)
NIP. 19661215 199503 2 001

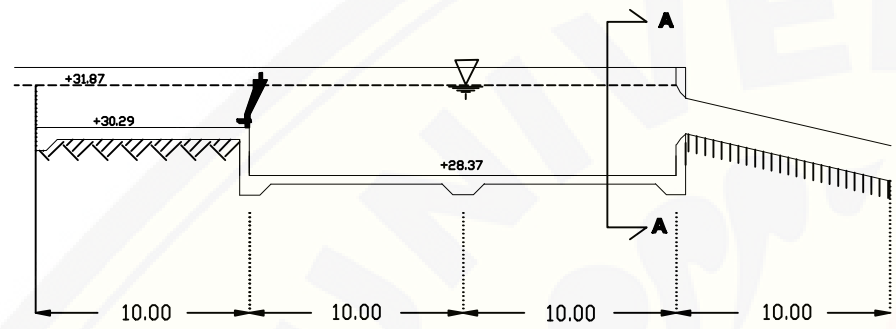
DOSEN PEMBIMBING ANGGOTA

(Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T)
NIP. 19710804 199803 1 002

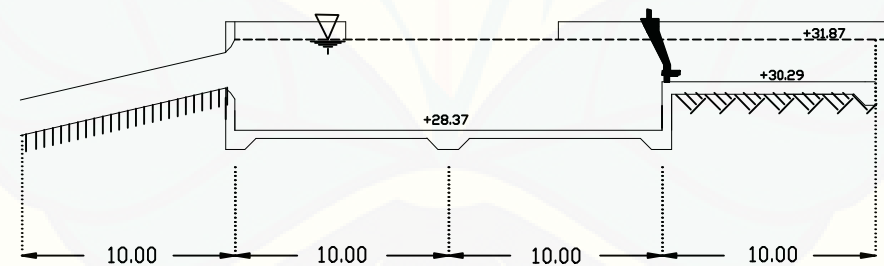
SKALA NOMOR TANGGAL

1 : 200

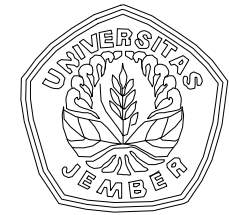
8/12



Tampak Samping Kanan



Tampak Samping Kiri



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Faks. (0331) 484977, 410241
web: www.unj.ac.id

TUGAS AKHIR

PEKERJAAN

PERENCANAAN PLTA
DAM KARET JATIMLEREK

GAMBAR

DETAIL FOREBAY

NAMA Aida Putri Ariansyah

NIM 141910301106

DOSEN PEMBIMBING UTAMA

(Dr. Ir. Entin Hidayah, MUM)
NIP. 19661215 199503 2 001

DOSEN PEMBIMBING ANGGOTA

(Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T)
NIP. 19710804 199803 1 002

SKALA	NOMOR	TANGGAL
1 : 300	9/12	



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
 UNIVERSITAS JEMBER
 FAKULTAS TEKNIK
 PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
 Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Fax. (0331) 484977, 410241
 web: www.unj.ac.id

TUGAS AKHIR

PEKERJAAN

PERENCANAAN PLTA
 DAM KARET JATIMLEREK

GAMBAR

DETAIL FOREBAY

NAMA Aida Putri Ariansyah

NIM 141910301106

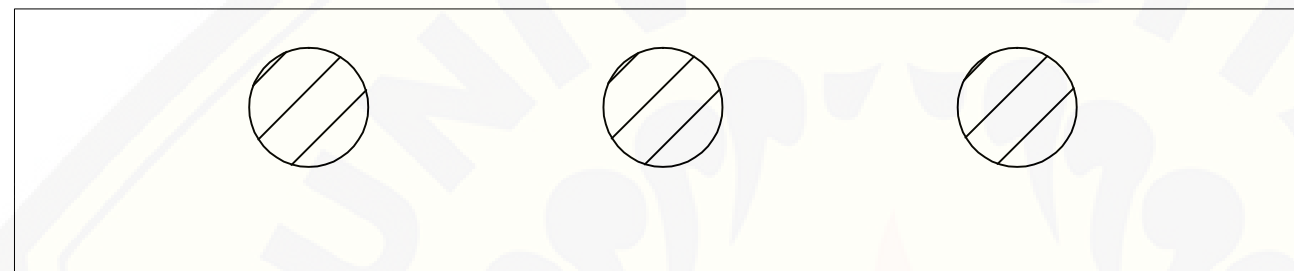
DOSEN PEMBIMBING UTAMA

(Dr. Ir. Entin Hidayah, MUM)
 NIP. 19661215 199503 2 001

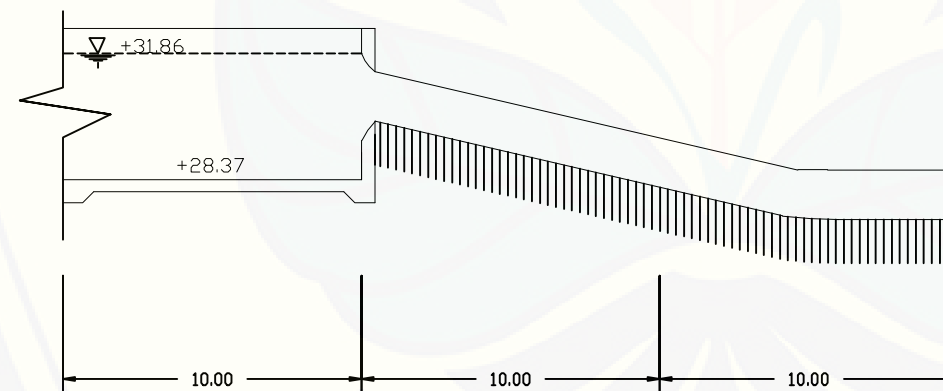
DOSEN PEMBIMBING ANGGOTA

(Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T)
 NIP. 19710804 199803 1 002

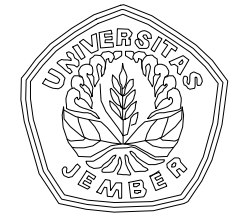
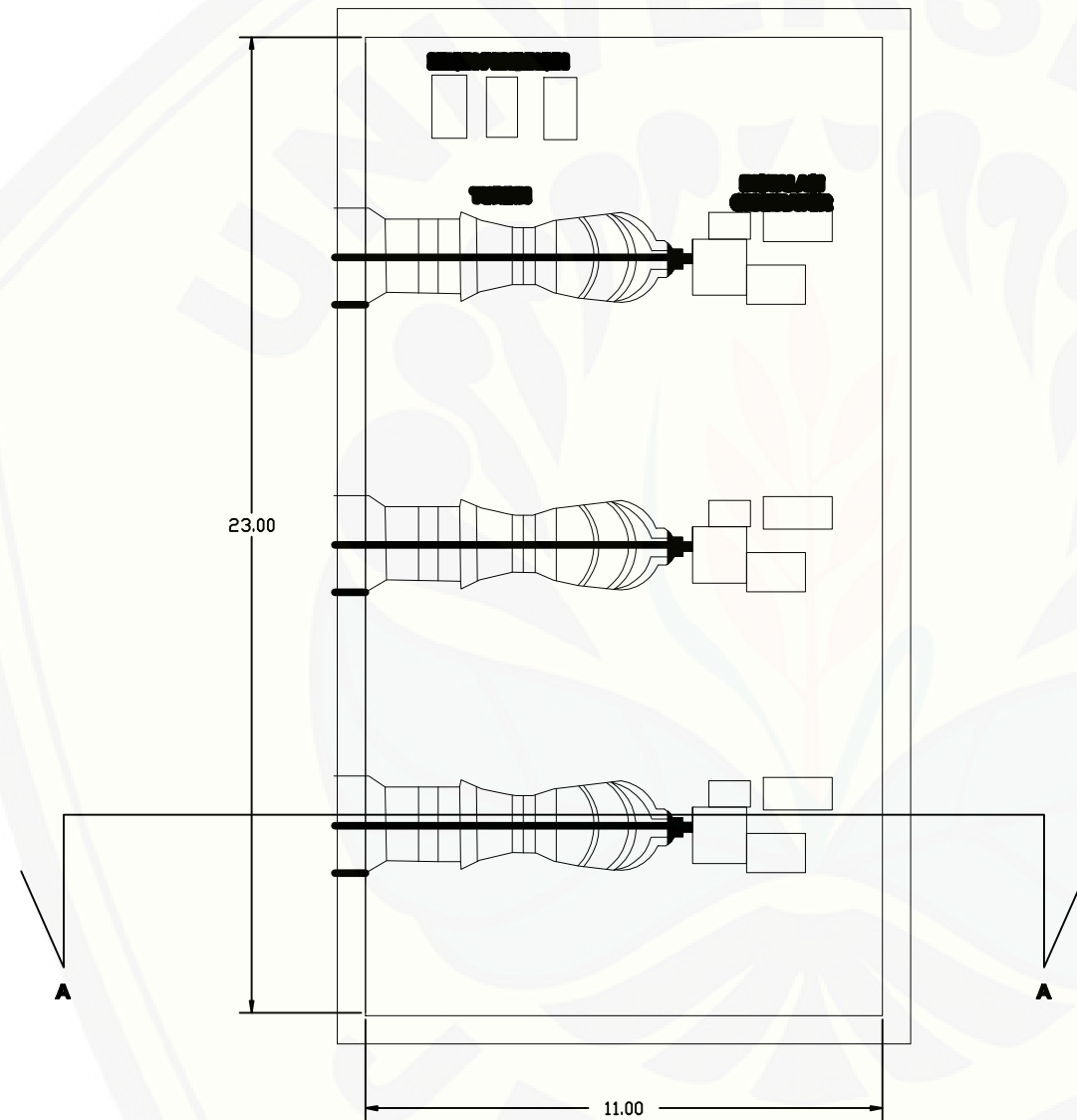
SKALA	NOMOR	TANGGAL
	10/12	



Potongan A-A
Skala 1 : 100



Potongan Memanjang Penstock
Skala 1 : 250



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
 UNIVERSITAS JEMBER
 FAKULTAS TEKNIK
 PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
 Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Fax. (0331) 484977, 410241
 web: www.unj.ac.id

TUGAS AKHIR

PEKERJAAN

PERENCANAAN PLTA
 DAM KARET JATIMLEREK

GAMBAR

DENAH POWERHOUSE

NAMA Aida Putri Ariansyah

NIM 141910301106

DOSEN PEMBIMBING UTAMA

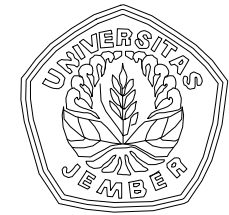
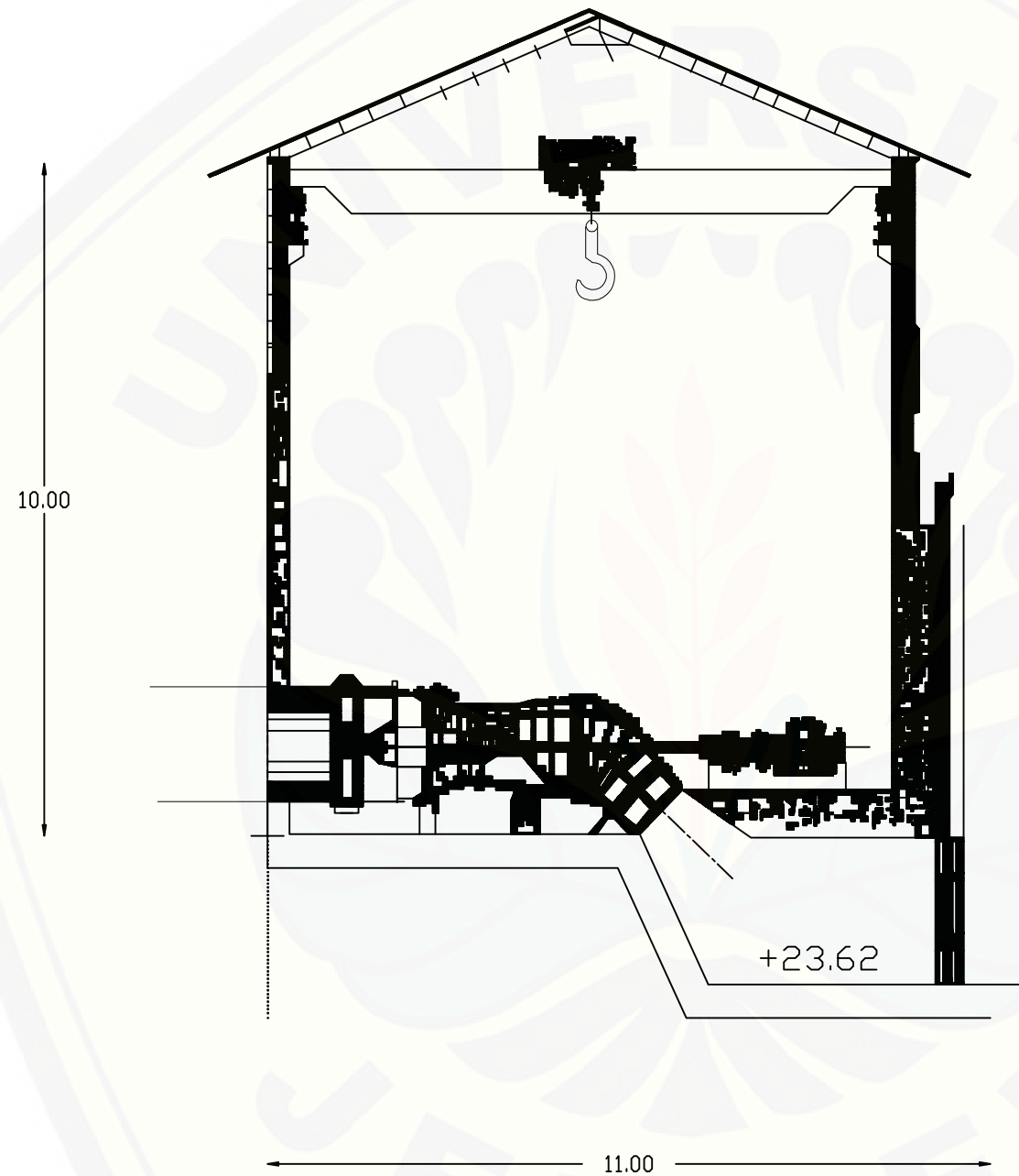
(Dr. Ir. Entin Hidayah, MUM)
 NIP. 19661215 199503 2 001

DOSEN PEMBIMBING ANGGOTA

(Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T)
 NIP. 19710804 199803 1 002

SKALA	NOMOR	TANGGAL
-------	-------	---------

1 : 150	11/12	
---------	-------	--



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
 UNIVERSITAS JEMBER
 FAKULTAS TEKNIK
 PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
 Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Fax. (0331) 484977, 410241
 web: www.unj.ac.id

TUGAS AKHIR

PEKERJAAN

PERENCANAAN PLTA
 DAM KARET JATIMLEREK

GAMBAR

POTONGAN MEMANJANG
 POWER HOUSE

NAMA | Aida Putri Ariansyah

NIM | 141910301106

DOSEN PEMBIMBING UTAMA

(Dr. Ir. Entin Hidayah, MUM)
 NIP. 19661215 199503 2 001

DOSEN PEMBIMBING ANGGOTA

(Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T)
 NIP. 19710804 199803 1 002

SKALA	NOMOR	TANGGAL
1 : 100	12/12	